



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

MARIANA STOCCO ARCIERI

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES TEMPORAIS NAS VAZÕES NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA EM SERGIPE

SERGIPE

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

MARIANA STOCCO ARCIERI

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES TEMPORAIS NAS VAZÕES NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA EM SERGIPE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz

SERGIPE

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

A674a Arcieri, Mariana Stocco
Avaliação das alterações temporais nas vazões na bacia
hidrográfica do rio Japaratuba em Sergipe / Mariana Stocco Arcieri
; orientador Marcus Aurélio Soares Cruz. – São Cristóvão, SE, 2019.
96 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade
Federal de Sergipe, 2019.

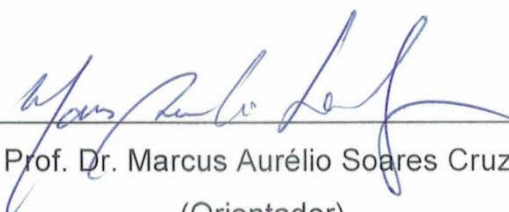
1. Recursos hídricos. 2. Balanço hidrológico. 3. Precipitação
(Meteorologia). 4. Escoamento. 5. Japaratuba, Rio (SE). 6. Bacias
hidrográficas – Sergipe. I. Cruz, Marcus Aurélio Soares de, orient. II.
Título.

CDU 556.161(813.7)

MARIANA STOCCO ARCIERI

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES TEMPORAIS NAS VAZÕES NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA EM SERGIPE

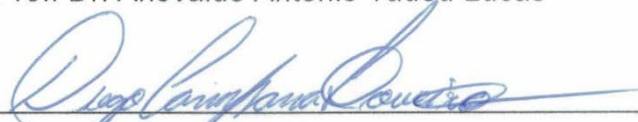
Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Sergipe, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos para obtenção
do título de Mestre em Recursos Hídricos.



Prof. Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz
(Orientador)



Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas



Prof. Dr. Diego Campana Loureiro

SERGIPE

2019

AGRADECIMENTOS

A minha família, sou grata pelo incentivo e empenho que sempre tiveram para que tudo isso fosse possível.

Aos colegas que conheci enquanto mestranda pela participação especial neste capítulo da minha vida.

A Universidade Federal de Sergipe, em especial ao Núcleo de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH), pela oportunidade de realização deste curso e a todos os professores, agradeço pelos ensinamentos.

Em especial ao meu orientador, pela paciência, boa vontade e, principalmente, por acreditar no êxito deste trabalho.

A FAPITEC e a CAPES, pelos auxílios financeiros que permitiram a consecução da pesquisa.

RESUMO

Os componentes do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica são influenciados pelas características do solo de uma bacia, pelo seu uso e cobertura e pelo regime pluviométrico. O presente estudo teve o intuito de avaliar a dinâmica hidrológica das vazões na bacia hidrográfica do Rio Japaratuba em Sergipe utilizando dados históricos de hidrologia compreendidos entre período de 1969 a 2017 agrupados a cada 20 anos. O comportamento hidrológico foi avaliado por meio da determinação de vazões de referência mínimas (Q_{90} e $Q_{7,10}$), médias ($Q_{Média}$ e Q_{50}) e máximas (Q_{TR10} e Q_{TR50}), aplicando análises estatísticas em planilhas eletrônicas do tipo Empírica, Normal, Weibull, Gumbel, Log-Normal, Log-Pearson Tipo III. O resultado foi submetido ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov identificando o melhor ajuste estatístico, ao teste de Mann Kendall no software R constatando possíveis tendências significativas de aumento ou de redução e, posteriormente, confrontado com o comportamento das séries de precipitação através do coeficiente de correlação de Pearson e com a caracterização dos tipos de solo e uso e cobertura da região. Os dados apresentaram tendência significativa de aumento nas chuvas médias, com exceção à área da estação Japaratuba que não demonstrou tendência. No rio principal, Japaratuba, a vazão mínima $Q_{7,10}$ apresentou tendência significativa de aumento e as vazões de referência médias e máximas, tendência significativa de redução, desempenhos que podem estar associados às alterações dos usos e coberturas do solo. No afluente Siriri, o possível aumento das chuvas não está se refletindo nas vazões mínimas. Nas máximas, a tendência significativa de aumento retrata as possíveis interferências da chuva média e do tipo de solo predominante, o Argissolo. Nas médias, a análise considerou influências antrópicas que podem ter influenciado o resultado frente ao elevado coeficiente de variação das amostras. Constatou-se tendência significativa de redução das vazões de referência mínimas do rio Japaratuba Mirim e de aumento nas médias e máximas, refletindo um comportamento provável para regiões de uso e coberturas predominadas por pasto e Argissolos. A correlação de Pearson foi mais evidente em bacias de menor área como Siriri, Japaratuba Mirim e Fazenda Cajueiro dado o tempo de resposta ser mais rápido.

Palavras-chave: Dinâmica hidrológica, alterações temporais nas vazões, ajustes estatísticos.

ABSTRACT

The water balance components of a river basin are influenced by the soil characteristics of a basin, its use and coverage, and the pluviometric regime. The present study aimed to evaluate the hydrological dynamics of flows in the basin of the Japaratuba River in Sergipe using historical hydrology data from 1969 to 2017 grouped every 20 years. The hydrological behavior was evaluated by means of the determination of minimum reference flows (Q_{90} and $Q_{7,10}$), averages ($Q_{Média}$ and Q_{50}) and maximum reference flows (Q_{TR10} and Q_{TR50}), applying statistical analysis in spreadsheets of Empirical, Normal, Weibull, Gumbel, Log-Normal, Log-Pearson Type III. The results were submitted to the Kolmogorov-Smirnov adhesion test, identifying the best statistical fit, the Mann Kendall test in the R software, establishing possible significant increase or reduction tendencies, and then confronted with the behavior of the precipitation series using the coefficient of Pearson correlation and with the characterization of soil types and use and coverage of the region. The data showed a significant trend of increase in average rainfall, except for the Japaratuba station area that did not show a trend. In the main river, Japaratuba, the minimum flow $Q_{7,10}$ showed a significant trend of increase and the medium and maximum reference flows, a significant trend of reduction, performances that may be associated to changes in land use and cover. In the affluent Siriri, the possible increase of the rains is not being reflected in the minimum flows. At the maximum, the significant trend of increase depicts the possible interferences of the average rainfall and the predominant soil type, the Argisol. In the averages, the analysis considered anthropic influences that may have influenced the result against the high coefficient of variation of the samples. There was a significant trend of reduction of the minimum reference flows of the Japaratuba Mirim river and increase in the average and maximum, reflecting a probable behavior for regions of use and coverages predominated by pasture and Argisols. Pearson's correlation was more evident in smaller area basins such as Siriri, Japaratuba Mirim and Fazenda Cajueiro because the response time was faster

Key words: Hydrological dynamics, temporal changes in flow rates, statistical adjustments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático ciclo hidrológico.	16
Figura 2. Regiões hidrográficas do estado de Sergipe.....	27
Figura 3. Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba e afluentes principais.	31
Figura 4. Tipos de solos predominantes na Bacia do Rio Japaratuba.	32
Figura 5. Uso da terra na Bacia do Rio Japaratuba.	33
Figura 6. Tipos de solo predominantes na estação Japaratuba.	34
Figura 7. Usos predominante do solo na estação Japaratuba.	35
Figura 8. Tipos de solo predominantes na estação Siriri.....	36
Figura 9. Usos predominantes do solo na estação Siriri.	36
Figura 10. Tipos de solo predominantes na estação Rosário do Catete.	37
Figura 11. Usos predominantes do solo na estação Rosário do Catete.....	37
Figura 12. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Pão de Açúcar.	38
Figura 13. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Pão de Açúcar.	39
Figura 14. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Cajueiro.....	40
Figura 15. Usos predominantes do solo na estação Fazenda Cajueiro.	40
Figura 16. Estações fluviométricas e altimetria da bacia do Rio Japaratuba.	42
Figura 17. Ilustração da escala temporal utilizada para análise fluviométrica e pluviométrica.	43
Figura 18. Estações pluviométricas e uso e cobertura da terra atual na bacia do Rio Japaratuba.	47
Figura 19. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Japaratuba.....	54
Figura 20. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Japaratuba.....	54
Figura 21. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Japaratuba.....	55
Figura 22. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Japaratuba.	56
Figura 23. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Japaratuba.....	57
Figura 24. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Japaratuba.....	58
Figura 25. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Siriri.....	60
Figura 26. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Siriri.....	61
Figura 27. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Siriri.....	62
Figura 28. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Siriri.....	62
Figura 29. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Siriri.	64
Figura 30. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Siriri.	64

Figura 31. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Rosário do Catete.	66
Figura 32. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Rosário do Catete.	67
Figura 33. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Rosário do Catete.	68
Figura 34. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Rosário do Catete.	68
Figura 35. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Rosário do Catete.	70
Figura 36. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Rosário do Catete.	70
Figura 37. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	73
Figura 38. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	73
Figura 39. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	74
Figura 40. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	75
Figura 41. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	76
Figura 42. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.	76
Figura 43. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	78
Figura 44. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	79
Figura 45. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	80
Figura 46. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	80
Figura 47. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	82
Figura 48. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Japaratuba.	41
Tabela 2. Estações pluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Japaratuba.	47
Tabela 3. Quantidade obtida de vazões de referência para cada estação fluviométrica	51
Tabela 4. Tabela estatística da estação Japaratuba.	52
Tabela 5. Tabela estatística da estação Siriri.	58
Tabela 6. Tabela estatística da estação Rosário do Catete.	65
Tabela 7. Tabela estatística da estação Fazenda Pão de Açúcar.	71
Tabela 8. Tabela estatística da estação Fazenda Cajueiro.	77
Tabela 9. Caracterização hidrológica dos solos da Bacia do Rio Japaratuba de acordo com a classificação de Sartori et al. (2005).	83
Tabela 10. Usos predominantes dos solos da Bacia do Rio Japaratuba de acordo com o levantamento realizado por Cruz et al. (2012).	83
Tabela 11. Quadro resumo da análise do teste de Mann Kendall.	84
Tabela 12. Quadro resumo da análise de correlação entre os dados de vazão e de precipitação.	84

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA	15
2.2 O CICLO HIDROLÓGICO.....	16
2.3 AS INTERFERÊNCIAS NA DISPONIBILIDADE E NO COMPORTAMENTO DA ÁGUA NOS DIVERSOS TIPOS DE SOLOS E DE USO E COBERTURA	17
2.3.1 <i>Características dos tipos de solos</i>	17
2.3.2 <i>Grupos hidrológicos dos solos</i>	18
2.3.3 <i>Características dos tipos de uso e cobertura</i>	21
2.4 USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
2.5 GESTÃO NACIONAL E ESTADUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS	25
2.6 OS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE SERGIPE.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 A ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.2 TIPOS E USOS DO SOLO PREDOMINANTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA	31
a) <i>Sub-bacia do Rio Japaratuba - Estação Japaratuba</i>	33
b) <i>Sub-bacia do Rio Siriri - Estação Siriri</i>	35
c) <i>Sub-bacia do Rio Siriri - Estação Rosário do Catete</i>	36
d) <i>Sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim - Estação Fazenda Pão de Açúcar</i>	38
e) <i>Sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim - Estação Fazenda Cajueiro</i>	39
3.3 DADOS HIDROLÓGICOS.....	40
3.3.1 <i>Vazão</i>	41
3.3.1.1 <i>Distribuições estatísticas</i>	43
3.3.1.2 <i>Teste Kolmogorov-Smirnov</i>	46
3.3.2 <i>Precipitação</i>	46
3.4 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	48
3.4.1 <i>Coeficiente de variação</i>	48
3.4.2 <i>Correlação de Pearson</i>	48
3.4.3 <i>Teste de tendência de Mann Kendall</i>	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS.....	52
4.1.1 <i>Estação Japaratuba</i>	52
4.1.1.1 <i>Chuva média</i>	52
4.1.1.2 <i>Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}</i>	53
4.1.1.3 <i>Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$</i>	55

4.1.1.4	Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}	56
4.1.2	<i>Estação Siriri</i>	58
4.1.2.1	Chuva média.....	59
4.1.2.2	Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}	59
4.1.2.3	Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$	61
4.1.2.4	Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}	63
4.1.3	<i>Estação Rosário do Catete</i>	64
4.1.3.1	Chuva média.....	65
4.1.3.2	Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}	65
4.1.3.3	Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$	67
4.1.3.4	Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}	69
4.1.4	<i>Estação Fazenda Pão de Açúcar</i>	71
4.1.4.1	Chuva média.....	71
4.1.4.2	Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}	71
4.1.4.3	Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$	73
4.1.4.4	Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}	75
4.1.5	<i>Estação Fazenda Cajueiro</i>	77
4.1.5.1	Chuva média.....	77
4.1.5.2	Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}	77
4.1.5.3	Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$	79
4.1.5.4	Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}	81
4.2	ASSOCIAÇÕES COMPARATIVAS ENTRE O COMPORTAMENTO DAS SUB-BACIAS DO RIO JAPARATUBA	83
5	CONCLUSÃO	87
	ANEXOS	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

A problemática ambiental mundial é marcada pela utilização excessiva dos recursos naturais e está conseqüentemente atrelada à deterioração dos sistemas fundamentais para a conservação da vida. Pode ser observada com o aumento acelerado da população, a expansão de áreas agrícolas e a intensa urbanização que promovem estados críticos e irreversíveis de modificações ambientais que afetam o ciclo da água e o clima.

De tal modo, a crescente interferência nos recursos hídricos com a degradação das matas, assoreamento dos rios, obras de barragens e desvios de cursos, bem como a utilização abusiva da água e até mesmo a variabilidade climática, têm colaborado para a deterioração das características físicas, químicas, biológicas e até mesmo o desaparecimento de lagos e rios. Portanto, os estudos que auxiliam e caracterizam as bacias hidrográficas são imprescindíveis na busca do equilíbrio entre a exploração e a sustentabilidade do meio ambiente garantindo qualidade e quantidade.

A análise dos componentes que detalham as modificações ocorridas no comportamento hidrológico por meio de registros diários de vazões, precipitação, estudos de alterações no uso e cobertura do solo, é de grande importância para gerar informações, gerir os recursos hídricos, esquematizar áreas vulneráveis e garantir a disponibilidade atual e futura.

No estado de Sergipe, a degradação é resultante principalmente de atividades agrícolas, exploração de recursos naturais e o desenvolvimento urbano e industrial. Em particular, as áreas desmatadas da bacia do rio Japarutuba, no nordeste do estado, deram lugar a pastagens, plantação de cana-de-açúcar, exploração de minérios como potássio e petróleo, provocando significativas alterações nos processos hidrológicos e na qualidade das águas dos rios.

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento das alterações temporais nas vazões da bacia hidrográfica do Rio Japarutuba, tomando como base os registros obtidos em diferentes datas, no período de 1969 a 2017, agrupados a cada 20 anos, além de associar as possíveis causas que interferem nos processos hidrológicos locais como o comportamento da precipitação, os tipos de solo e o uso e cobertura. A investigação destes fatos torna-se importante para fornecer informações

que subsidiem os processos de tomada de decisão quanto à gestão dos recursos hídricos a partir do planejamento e da gestão ambiental mais adequados de bacias hidrográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a crescente exploração dos recursos naturais, fator determinante para sua degradação e esgotamento, a questão ambiental tornou-se um tema de muito debate entre autoridades e a sociedade geral na busca de soluções que sensibilizem a importância da preservação do ambiente natural acima da visão exclusivamente a favor do lucro mercadológico. Nesse sentido, a comunidade científica e acadêmica são aliadas na busca de soluções para os problemas ambientais envolvendo planos de manejo e de preservação dos recursos naturais que gerem vantagens a longo prazo e comprometimento ético. (RIBEIRO, 2017)

A intitulação da água como um direito humano fundamental ressalta a consequente necessidade de que seu fornecimento é imprescindível para a manutenção da vida e deve abranger a todos. Tal recurso natural possui distribuição desigual no planeta e é amplamente dependente da possibilidade de captação em lagos, rios e aquíferos de menor profundidade para serem destinados ao consumo. No Brasil, os recursos hídricos superficiais disponíveis em abundância representam 50% do total da América do Sul e 11% do total mundial. Já os recursos subterrâneos são dependentes das recargas dos aquíferos, da capacidade de armazenamento e de regularização. (CADEMARTORI, 2014 e TUCCI, 2001)

Os principais problemas dos recursos hídricos se relacionam à sua má utilização e à falta de planejamento e gestão. A intensidade e a variedade das demandas evidenciam a necessidade do gerenciamento, desmistificando a impressão de que tais recursos sejam inesgotáveis. Diante disso, identificar e quantificar áreas em que os recursos hídricos se encontram escassos, ou podem vir a se tornar, é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão a partir do conhecimento dos procedimentos espacial e temporal do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas e seus regimes de variação de vazões. (LATUF, 2007)

Alguns conceitos importantes dentro da hidrologia, explanados nos itens subsequentes como o de bacia hidrográfica e o de ciclo hidrológico, são imprescindíveis para entender sobre o meio estudado e sua dinâmica. Com base nisso, torna-se possível analisar as características e avaliar as alterações e as interferências ocorridas no meio hídrico a partir de condições naturais ou antrópicas. Para isso, o sistema de informações geográficas auxilia nas práticas de gestão e

fundamentam estudos sobre os recursos hídricos, integrando informações que servirão de parâmetros e banco de dados.

2.1 Bacia hidrográfica

Regulamentada legalmente pela Política Nacional de Recursos Hídricos brasileira na Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é a unidade adotada para o desenvolvimento de gestão e planejamento dos recursos hídricos. Uma abordagem feita por Balbinot et al. (2009), evidencia a vulnerabilidade das bacias com as mudanças no solo e na vegetação, interferindo diretamente nas características do ciclo hidrológico e na sustentabilidade do ambiente. Neste contexto, justifica-se a consideração da bacia como uma unidade na qual serão efetivadas práticas de estudo e análises de processos inerentes às interferências humanas onde se altera a utilização e a cobertura terrestre.

Sobre isto, Guerra e Cunha dizem:

As bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (GUERRA e CUNHA, 1996).

Portanto, estudos em bacias hidrográficas permitem realizar diagnósticos ambientais que referenciem as condições a que a bacia está submetida, a fim de planejar e racionalizar o uso de suas terras em ações de médio a longo prazo, prevenindo possíveis formas de degradação.

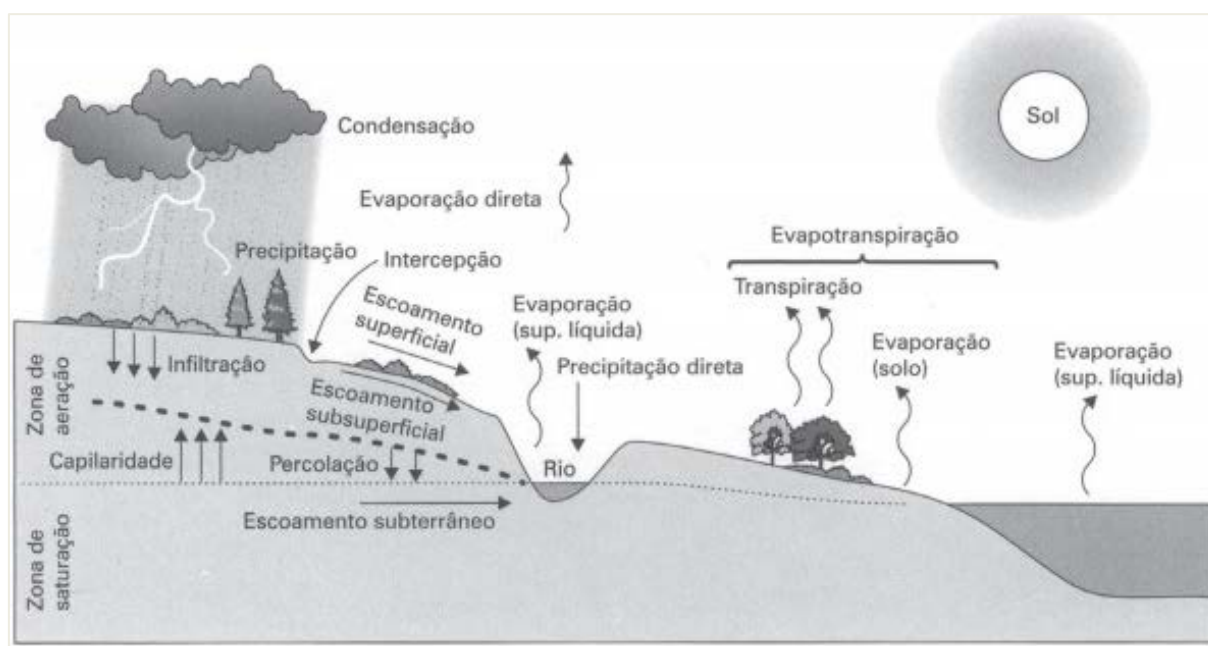
As atividades antrópicas em variados âmbitos da sociedade, sejam elas, urbanas, rurais e industriais, provocam, a longo prazo, expressivos problemas na dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas e têm efeitos potencializados por processos naturais de chuvas intensas e pelo manejo inadequado do solo. Essas alterações, podem reduzir a disponibilidade dos cursos d'água pelo assoreamento, reduzir a seção natural dos rios e facilitar processos erosivos. Esse contexto ressalta a extrema importância de se realizar estudos sobre as características das bacias hidrográficas, sobre a dinâmica do uso e a ocupação do solo explorado para o gerenciamento e a sustentabilidade do meio. (APARECIDO, 2016)

Para Avazani (2005) e Gardiman Junior et al. (2012), os estudos em bacias hidrográficas são essenciais para garantir a integridade e o equilíbrio da dinâmica da água, minimizando as consequências ambientais. São ferramentas que proporcionam amplo entendimento sobre solo, água, vegetação e visam auxiliar o planejamento das atividades humanas com o manejo adequado dos recursos naturais.

2.2 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico representa a movimentação da água em diferentes estados físicos em um processo sem ganhos ou perdas de massa no sistema. Esse movimento envolve processos físicos da evaporação, transpiração, precipitação, infiltração e percolação, representando os caminhos que a água percorre no sistema Terra que podem ser de fluxo vertical, como a precipitação e a evapotranspiração, e longitudinal, como o escoamento superficial e subterrâneo (Figura 1).

Figura 1. Diagrama esquemático ciclo hidrológico.



Fonte: BRAGA (2005)

Tucci (1993) afirma que o fluxo da água é dado pela evaporação e transpiração das plantas da superfície para a atmosfera e, o sentido contrário, é comumente transferido através de neve e precipitação. Ainda explica que nem todo

volume de chuva precipitado evapora, seguindo para os rios e oceanos por se tratar de um ciclo fechado.

Assim, a resposta hidrológica corresponde à forma que uma bacia responde à entrada de água pela precipitação que cai no solo transformando-se em uma saída de água, o escoamento, de maneira distribuída no tempo.

A vazão de um rio corresponde ao volume de água que passa pela sua seção, calculada especificamente considerando a área e o tempo. Comumente adotados, os valores de vazão máxima, mínima e média auxiliam no planejamento e na gestão dos recursos hídricos e são fundamentais para a garantia da disponibilidade hídrica.

A vazão máxima de um curso d'água é o valor associado para o controle de inundações, parâmetro de projetos de obras de drenagem urbana, além de ter caráter decisivo nos custos e na segurança de projetos de engenharia (TUCCI, 1993).

A vazão mínima assegura a funcionalidade necessária do meio e dos processos aquáticos, abastecimento urbano e industrial, controle de poluição, geração de energia elétrica (BENETTI et al., 2003).

Já a vazão média é adotada quando deseja-se simular as condições médias de um rio, realizar regularizações por meio de reservatórios, bem como administrar a disponibilidade hídrica.

Estes parâmetros hidrológicos são utilizados em estudos hidrelétricos, navegação, qualidade da água, outorga, dimensionamento de obras hidráulicas, entre outros.

2.3 As interferências na disponibilidade e no comportamento da água nos diversos tipos de solos e de uso e cobertura

2.3.1 Características dos tipos de solos

As propriedades físicas do solo como porosidade, atividade biológica, palhada, umidade, rugosidade da superfície e declividade do terreno são condições determinantes para a disponibilidade e os fluxos da água nos solos. O controle desses processos determina o movimento da água para os lençóis subterrâneos e as substâncias erodidas para rios e lagos. (ROSA DA SILVA et al., 2018)

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), o Brasil possui uma grande diversidade de solos em sua extensão continental predominando os Latossolos, os Argissolos e os Neossolos, que no conjunto se distribuem em aproximadamente 70% do território nacional.

Os Latossolos são solos profundos, de baixa fertilidade natural, compostos por argila na maior proporção e silte na menor proporção; são porosos, bem drenados e bem permeáveis mesmo quando muito argilosos. (EMBRAPA SOLOS, 2018)

Os Argissolos possuem maior teor de argila nos horizontes sub superficiais em relação aos superficiais, sua textura varia de arenosa/média até média/muito argilosa e pode possuir de muito baixa a média fertilidade. (EMBRAPA SOLOS, 2018)

Os Neossolos encontram-se localizados em várzeas de rios e vão de argilosos a muito argilosos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura. Com textura fina apresentam riscos de inundação e excesso de umidade pela presença do lençol freático próximo à superfície e, apresentando textura média, possuem boa drenagem. Os Neossolos se subdividem em níveis de classificação mais baixos em Neossolos Litólicos, Regolíticos, Flúvicos e Quartzarênicos. (EMBRAPA SOLOS, 2018)

2.3.2 Grupos hidrológicos dos solos

Sartori et al. (2005) propôs uma extensão à classificação hidrológica de solos do Método SCS desenvolvido pelo Soil Conservation Service (1972) a partir das definições de Lombardi Neto et al. (1989) que definiram grupos hidrológicos de acordo com as características do solo e a sua resistência a erosão, descritas a seguir.

O método SCS classifica o solo de acordo com a capacidade de infiltração. O grupo A compreende os “solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados”; no grupo B tem-se os solos de “moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa”; no grupo C, encontram-se solos compostos por silte e argila, com textura moderadamente fina a fina; o grupo D compreende os solos argilosos.

A classificação proposta por Sartori et al. (2005) se dá pelo seguinte agrupamento:

I. Grupo hidrológico A

- Solos muito profundos (prof. > 200cm) ou profundos (100 a 200 cm);
- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância a erosão;
- Solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20);
- Solos de textura média;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macro porosidade em todo o perfil;
- Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- A textura dos horizontes superficial e sub superficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macro porosidade; Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

II. Grupo hidrológico B

- Solos muito profundos (100 a 200 cm);
- Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;
- Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;
- Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil;
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;

- A textura dos horizontes superficial e sub superficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo: Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno; Nitossolo Vermelho; Neossolo Quartzarênico; Argissolo Vermelho ou Vermelho-Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

III. Grupo hidrológico C

- Solos muito profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância a erosão;
- Solos porosos com gradiente textural variando maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
- Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);
- A textura nos horizontes superficial e sub superficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo: Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háptico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (Latossólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.

IV. Grupo hidrológico D

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- Solos rasos (prof. < 50cm)

- Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- Solos orgânicos.

Enquadram-se neste grupo: Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvissolo; Plintossolo; solos de mangue; afloramentos de rocha; demais cambissolos que não se enquadram no grupo C; Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

2.3.3 Características dos tipos de uso e cobertura

Além das interferências no ciclo, a dinâmica do uso e da ocupação da terra influencia também na qualidade das águas, visto que cada uma delas atua protegendo o solo contra a erosão, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes, consequências que intensificam a incidência de impurezas diante das alterações do uso do solo, lançamento de efluentes em corpos hídricos e as modificações no sistema fluvial. (TUCCI, 2001)

Maus et al. (2007) afirma que diversos fatores influenciam o escoamento superficial e destaca, dentre eles, o uso e ocupação onde solos sem cobertura vegetal ou com um alto grau de compactação apresentam uma maior taxa de escoamento, alterando vazões máximas e mínimas dos mananciais. Assim, pode-se concluir que a medida que a infiltração diminui, o escoamento aumenta até atingirem certo equilíbrio dinâmico.

Zwirtes et al. (2011) realizaram estudo na região da Universidade Federal de Santa Maria que buscou avaliar a capacidade de infiltração de água em um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, de textura argilosa, em diferentes sistemas de cultivo. Pôde-se concluir que solos ocupados com mata nativa apresentam valores de velocidade de infiltração de água no solo superiores a solos cultivados sob plantio direto, plantio convencional, campo nativo e pastagem perene cultivada. Já os sistemas agrícolas voltados ao pastejo bovino apresentam menor velocidade de infiltração de água no solo quando comparados a solos manejados para produção de

culturas anuais para produção de grãos, e em solos cultivados sob sistema de plantio direto apresentam maior velocidade de infiltração de água no solo quando comparado ao plantio convencional.

Em se tratando de cobertura, para Teófilo (2012), a expansão da cultura da cana-de-açúcar pode ocasionar problemas como a compactação do solo, erosão devido à destruição de matas ciliares, degradação dos recursos hídricos, contaminação de solo e água devido à utilização de fertilizantes.

De acordo com Tucci et al. (1997), a cana-de-açúcar e o pasto por se tratarem de culturas permanentes, no processo de transformação da cobertura natural para a cultura, têm impactos sobre o escoamento e na evapotranspiração. A evapotranspiração tende a se estabilizar em um patamar durante a situação permanente, reduzindo na fase de corte e passando por uma fase de recuperação até atingir novamente a estabilidade da fase permanente. Já o escoamento é mínimo durante a fase permanente e sofre ascensão após o corte.

A utilização do solo para cultivos reduz a eficiência da interceptação das águas da chuva pela cobertura vegetal, reduz as taxas de cobertura do solo e tende a reduzir as vazões mínimas, aumentar as vazões médias, já que ocorre o aumento do escoamento superficial e a redução da evapotranspiração. Já o pasto tende a aumentar as vazões máximas e o escoamento superficial e reduzir as taxas de infiltração no solo. (LATUF, 2007)

No caso da cobertura do solo por pasto de gramíneas ocorre a tendência de aumento do escoamento superficial, a redução da evapotranspiração, das taxas de infiltração de água no solo e conseqüentemente, da alimentação do aquífero. Assim, evidencia-se o aumento das vazões máximas. (DE OLIVEIRA et al., 2012)

Santos (2003), em um estudo realizado na Bacia do Rio Itajaí, constatou que houve melhoria na capacidade de infiltração da bacia, devido ao aumento da área de florestas e de reflorestamentos. Latuf (2007) diagnosticou, através de um estudo realizado nas bacias do Rio Preto e do Ribeirão Entre Ribeiros, a redução no comportamento das vazões máximas nas áreas de florestas observadas devido ao potencial aumento da evapotranspiração, aumento das vazões mínimas, através da potencialização da infiltração, e redução das vazões médias, devido ao aumento da evapotranspiração e a redução do escoamento.

Estudo realizado por De Oliveira et al. (2012) na bacia do Rio Branco entre o período de 1985 a 2005, constatou que o comportamento das vazões médias foi de aumento, associando o fato da área ser coberta por pastagem, o que reduz as taxas de evapotranspiração. Já nas vazões mínimas foi evidenciado o comportamento de redução, fato associado à substituição das áreas de mata por áreas de pastagem, gerando maior exposição do solo às ações das águas das chuvas com a diminuição da interceptação vegetal, reduzindo as taxas infiltração de água no solo e a retroalimentação do aquífero subterrâneo, não alimentando desta forma as vazões em tempo de estiagem.

Para Vieira (2000), o regime hídrico é diretamente afetado pela dinâmica e manejo da vegetação, pela expansão de zonas urbanas, pelo aumento de áreas agrícolas em pastagens e culturas, e pelo solo descoberto, podendo contribuir tanto para sua manutenção quanto para sua indisponibilidade. De acordo com Linhares et al. (2005), essa dinâmica inclui as mudanças naturais, habituais do ecossistema, que não interferem na disponibilidade hídrica normal, e as antrópicas, que geralmente causam impactos significativos nos regimes hidrológicos, como por exemplo o desmatamento.

Ainda sobre as alterações nos processos do ciclo, Barbosa Júnior (2014) evidencia a importância da cobertura vegetal sobre a precipitação que se transforma em escoamento superficial e a velocidade do fluxo. Durante o processo de infiltração, cada cobertura terrestre está associada a uma taxa de permeabilidade de água no solo e integra características particulares para a contenção mecânica que mantém a coesão. Com o desmatamento, a urbanização, o escoamento superficial é ampliado sobre um terreno, mesmo que permeável e rugoso, intensificando processos erosivos, enchentes, alterações das vazões do curso e redução da evapotranspiração.

Essa relação é abordada também por Balbinot et al. (2009) ao evidenciar e explorar no artigo “O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas”, a vulnerabilidade das bacias hidrográficas com as alterações da vegetação que interferem nas características do ciclo hidrológico e na sustentabilidade do ambiente, afirmando que em solos naturalmente cobertos por vegetação o fluxo da água é mais estável e sustentável.

As geotecnologias são ferramentas adequadas para auxiliar a quantificação das classes de solos e as alterações de uso e cobertura da terra a fim

de embasar as análises dos efeitos no ciclo hidrológico. Além disso, o uso do Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilita, por exemplo, caracterizar a variabilidade climática, identificação de fontes poluidora e de áreas vulneráveis.

2.4 Uso dos Sistemas de Informações Geográficas no manejo de bacias hidrográficas

Dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos, o sistema de informações é uma ferramenta com o objetivo de otimizar a gestão e aumentar a eficácia da utilização da água a partir da reunião, consolidação e divulgação de dados e informações atualizados para toda a sociedade (BRASIL, 2010). Aliado às técnicas de geoprocessamento, modelagem de dados, elementos de informações espaciais e outras tecnologias digitais, tornam-se ferramentas eficientes para gerir, planejar e tomar decisões. (CARNEIRO et al., 2011)

De acordo com Da Silva et al. (2017),

Estudos que buscam analisar a evolução geográfica dos sistemas de usos da Terra são importantes para a gestão de recursos naturais e planejamentos ambientais. Um dos cenários que podem ser analisados com precisão no tocante aos acontecimentos sobre sua superfície a fim de demonstrar a repercussão dos mesmos acerca dos fenômenos que estão interligados, são as bacias hidrográficas.

De Castro et al. (2016) desenvolveu um Banco de Dados Geográficos (BDG), um dos principais componentes dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), para armazenar informações do Estado do Rio Grande do Norte. A intenção foi utilizar a potencialidade do SIG como ferramenta importante no apoio às tomadas de decisões no monitoramento ambiental desta região, alvo de ampla exploração da indústria petrolífera, salineira e de carcinicultura. Os dados coletados e armazenados na forma de uma biblioteca virtual tendem a auxiliar nas tomadas de decisões a partir dos resultados apresentados sob a forma de mapas temáticos digitais, tabelas e relatórios, úteis como fonte de dados no planejamento preventivo e na definição das linhas de pesquisas futuras que serão desenvolvidas nesta região, tanto no contexto regional como no contexto local avaliando seus potenciais e suas fragilidades.

Em outro estudo, Serio et al. (2017) realizaram uma aplicação da ferramenta SIG para identificar os recursos naturais em áreas de micro bacias. Pode-se identificar onde estão situados os assentamentos rurais, localizadas no semiárido

do Estado do Ceará, por meio de um levantamento dos recursos naturais e das condições ambientais da região estudada. Os autores perceberam que o uso de SIG auxilia o emprego de outras metodologias, uma vez que permite um rápido levantamento das características ambientais. Ressaltam também que o uso da tecnologia SIG não elimina a necessidade de profissionais qualificados, mas simplifica a manipulação dos dados pela redução do tempo necessário para a conclusão do trabalho, possibilitando, no futuro, uma rápida atualização desses dados.

Costa et al. (2016) utilizou na Bacia Hidrográfica do Rio Carro Queimado e na Bacia Hidrográfica do Rio Dom Thomaz, no município de Três Lagoas – MS o banco de Dados Geográficos apoiados em técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, para fins de Planejamento e Gerenciamento Ambiental com a finalidade de diagnosticar, analisar, e fornecer subsídios teóricos para análises através das imagens, da atividade de campo e da quantificação dos dados mapeados, a existências das Áreas de Preservação Permanente e o uso e ocupação da terra da mesma.

Portanto, as geotecnologias subsidiam estudos em bacias hidrográficas sendo de suma importância para embasar planejamentos ambientais e para atender outras demandas públicas guiadas pela gestão dos recursos hídricos.

2.5 Gestão nacional e estadual dos recursos hídricos

A Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 é a atual diretriz brasileira que estabelece instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal e institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). São quatro os instrumentos da Política: planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água em classes, outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, cobrança pelo uso de recursos hídricos e sistema nacional de informações sobre recursos hídricos. (ANA, 2018)

Conhecida como Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos prioriza o abastecimento humano e a dessedentação animal em casos de escassez, além de integrar a União e estados de maneira participativa através da instalação de comitês que unem os poderes públicos, os usuários e a sociedade civil através de

planos das bacias hidrográficas que são imprescindíveis para identificar e arbitrar conflitos pelo uso da água e no âmbito administrativo. (ANA, 2018)

Por ser um bem de domínio público e de múltiplos usos, a Agência Nacional de Águas (ANA) e os órgãos gestores estaduais, como agências e secretarias, são responsáveis por regulamentar o acesso aos recursos hídricos elaborando e implementando mecanismos de gestão da água no país. Algumas leis importantes dessa gestão compreendem, por exemplo, a competência pela segurança das barragens - lei nº 12.334/2010, abastecimento de água, tratamento de esgoto, destinação das águas das chuvas nas cidades e lixo urbano - lei nº 11.445/2007, gestão e a autorização para o uso de águas subterrâneas, inclusive para a perfuração de poços – competência estadual. (ANA, 2018)

Em Sergipe a Superintendência de Recursos Hídricos (SRH) da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH-SE) é o órgão de natureza operacional da gestão dos recursos hídricos do estado, com base na lei nº 6.130, de 2 de abril de 2007. (ANA, 2018)

A Lei nº 3.870, de 25 de setembro de 1997 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a Lei nº 4.600, de 13 de setembro de 2002, altera o artigo 12, inciso IV, e o artigo 13 da Lei nº 3.870, de 25 de setembro de 1997, e cria o Fundo Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Conerh/SE), foi criado pela Lei nº 3.870, de 25 de setembro de 1997, e regulamentado pelo Decreto nº 18.099, de 26 de maio de 1999, como órgão de coordenação, fiscalização e deliberação coletiva e de caráter normativo. (ANA, 2018)

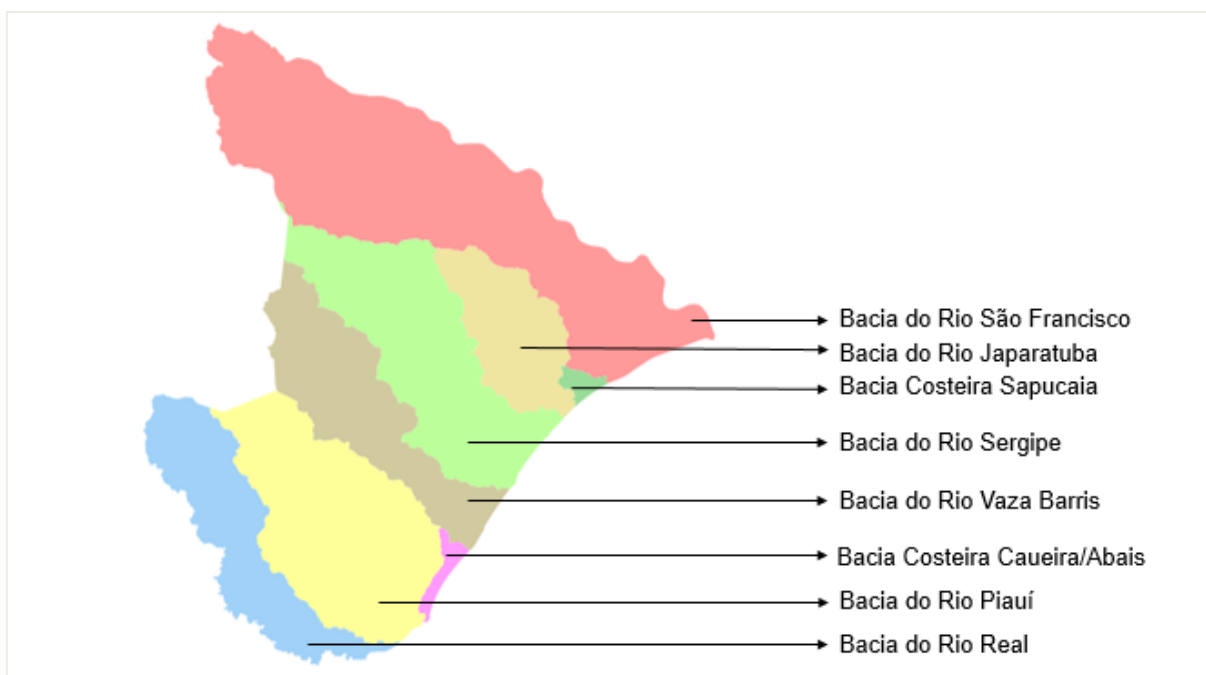
Além disso, o estado contempla três comitês de bacias: Rio Sergipe, Rio Piauí e Rio Japaratuba. (ANA, 2018)

2.6 Os recursos hídricos no estado de Sergipe

De acordo com Cruz (2009), as macrobacias hidrográficas no estado de Sergipe apresentam-se em diferentes estágios de degradação resultantes de atividades agrícolas, extrativistas, urbanas e industriais, que promovem alterações significativas nos processos hidrológicos e na qualidade das águas dos rios do Estado.

O estado de Sergipe, para efeito de gerenciamento dos recursos hídricos, encontra-se dividido em oito bacias ou regiões hidrográficas (Figura 2): Rio São Francisco, Rio Vaza Barris, Rio Real, Rio Japarutuba, Rio Sergipe, Rio Piauí, Bacia Costeira Sapucaia e Bacia Costeira Caueira/Abais.

Figura 2. Regiões hidrográficas do estado de Sergipe.



Fonte: SEMARH (2011).

Diversos estudos que aplicam as geotecnologias vêm sendo realizados no estado de Sergipe visando a obtenção das condições reais das bacias hidrográficas, a qualidade de seus recursos hídricos e o monitoramento ambiental. A partir de um projeto desenvolvido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), denominado Biblioteca Geoespacial sobre os Recursos Hídricos de Sergipe, Da Rocha et al. (2017) espacializou a área de abrangência de 947 estudos realizados em Sergipe e agrupados em quatorze temas. O estudo agrupou por temas afins centenas de estudos, com auxílio de estudantes da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e técnicos da SEMARH e os disponibiliza em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) por meio de um programa *open source* (QGIS), onde o usuário busca os estudos disponíveis e catalogados selecionando no mapa a região de seu interesse.

Utilizando-se da ferramenta de geotecnologia, Vasco et al. (2011) realizaram uma análise entre a dinâmica de uso e ocupação do solo na sub-bacia

hidrográfica do Rio Poxim e o comprometimento da qualidade das suas águas. Desta maneira, permite-se identificar os problemas prioritários para o desenvolvimento de alternativas de solução e de recuperação da localidade.

Sabendo que a estimativa da disponibilidade hídrica em uma bacia é uma das principais informações que alicerça a correta gestão dos recursos hídricos, Schneider et al. (2017) objetivou-se em determinar a equação regionalizada Q_{90} que melhor se ajuste ao comportamento hidrológico das bacias do Estado de Sergipe, considerando as diferentes regiões climáticas sergipanas - Tropical Úmida, Agreste e Semiárido - de forma a se obter uma pequena variação entre a vazão real e a vazão calculada pela regionalização. Para embasar o estudo que considerou as bacias dos rios Japaratuba, Sergipe, Vaza Barris, Piauí e Real, fez-se uso do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe e, para as estações situadas no Estado da Bahia, consultou-se a base de dados HidroWeb, da Agência Nacional das Águas (ANA).

Diversos estudos vêm sendo realizados na bacia do Rio Japaratuba. Dentre os mais recentes, Lima et al. (2017) aplicou técnicas de geoprocessamento para abordar técnicas de tratamento digital de imagens de satélite multiespectrais e dados de modelo digital de elevação, com o objetivo de melhor compreender as interrelações geológico-geomorfológicas através das estruturas lineares na área. Os mapas gerados podem servir como fonte de informações de formas do relevo, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana.

Celeste et al. (2014) aplicou a modelagem conceitual do Tank Model e da empírica das redes neurais artificiais para simular o processo chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Japaratuba. Os autores confrontaram os modelos do estudo com os resultados publicados no modelo utilizado para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe, o MODACH, evidenciando que todos os modelos do estudo forneceram melhores ajustes em comparação com o MODHAC.

Publicado pela revista Ambiente e Sociedade, os autores do artigo “Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japaratuba em Sergipe” propuseram avaliar a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Japaratuba, através do Índice de Sustentabilidade para Bacias Hidrográficas (WSI). A partir do estudo, a bacia hidrográfica foi classificada em um nível médio em relação à sustentabilidade, demandando atenção prioritária na dimensão hidrológica, em especial, a coleta e tratamento dos esgotos e o abastecimento de água. Além disso,

os autores aprovaram a metodologia utilizada que integrou dimensões ambientais, hidrológicas, sociais e políticas. (MAYNARD, 2017)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 A área de estudo

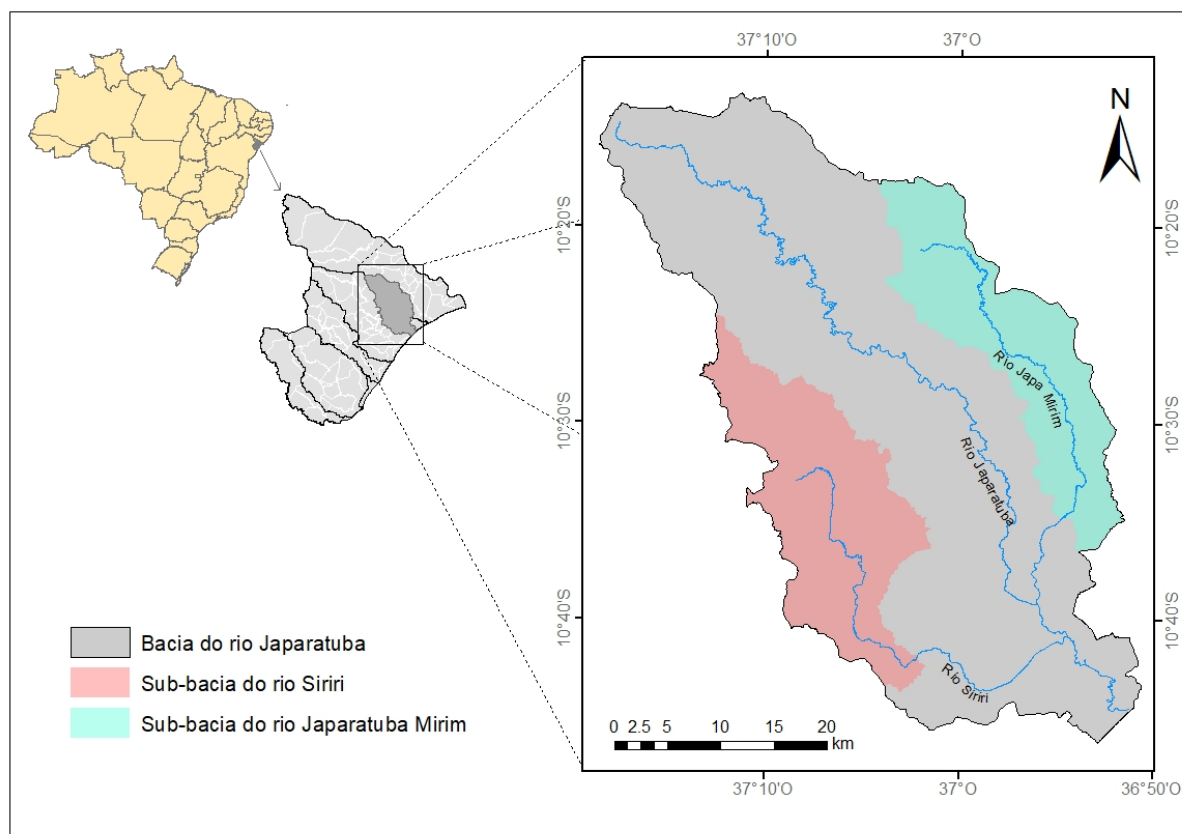
A bacia hidrográfica do Rio Japaratuba (Figura 3) ($10^{\circ}13'00''$ e $10^{\circ}47'00''$ de latitude sul e $36^{\circ}48'00''$ e $37^{\circ}19'00''$ de longitude oeste), localiza-se no nordeste do estado de Sergipe, possui uma área com aproximadamente 1700 km^2 correspondendo a 7,5% do Estado. O rio principal, Japaratuba, nasce entre os municípios de Feira Nova e Gracho Cardoso e desagua no Oceano Atlântico no município de Pirambu, com vazão média de ordem de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Seus principais afluentes são os rios Japaratuba Mirim à esquerda, e Siriri pela margem direita. (SEMARH, 2015)

A população residente na área da bacia é de aproximadamente 119.689 habitantes, representando 5,39% da população do estado, dos quais cerca de 66,01% moram na área urbana em municípios como Capela, Aquibadã, Japaratuba, Carmópolis, entre outros (SEMARH, 2015). A utilização dos recursos hídricos superficiais é destinada a exploração de petróleo, gás, potássio, cultura de cana-de-açúcar, irrigação e abastecimento humano (CRUZ, 2009). Na terra disponível é possível encontrar vegetação nativa, pastagem, cultivos agrícolas, solos expostos, área urbana (povoados, sede municipal e área industrial) e corpos d'água. (SEMARH, 2015)

Segundo Cruz (2009), a bacia hidrográfica do Rio Japaratuba possui importância estratégica para o estado de Sergipe devido ao campo petrolífero de Carmópolis, com mais de 150 km^2 e 1200 poços. A região apresenta processos de degradação avançados em alguns trechos, resultado de avanços históricos nas atividades agropecuárias, de extração mineral e despejos industriais sem o devido controle.

A bacia hidrográfica do Rio Japaratuba mostra-se adequada para testar a questão científica proposta visto que a análise das mudanças no uso e cobertura da terra é significativamente essencial para estudar os efeitos sobre o regime hidrológico. Diante do fato de que a bacia dispõe de séries históricas amplas e dados de cobertura da terra acessíveis, é de suma importância buscar analisar o comportamento hidrológico da mesma e melhorar a qualidade da informação disponível, assim, tende-se a traduzir a situação do local de uma forma realista.

Figura 3. Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba e afluentes principais.

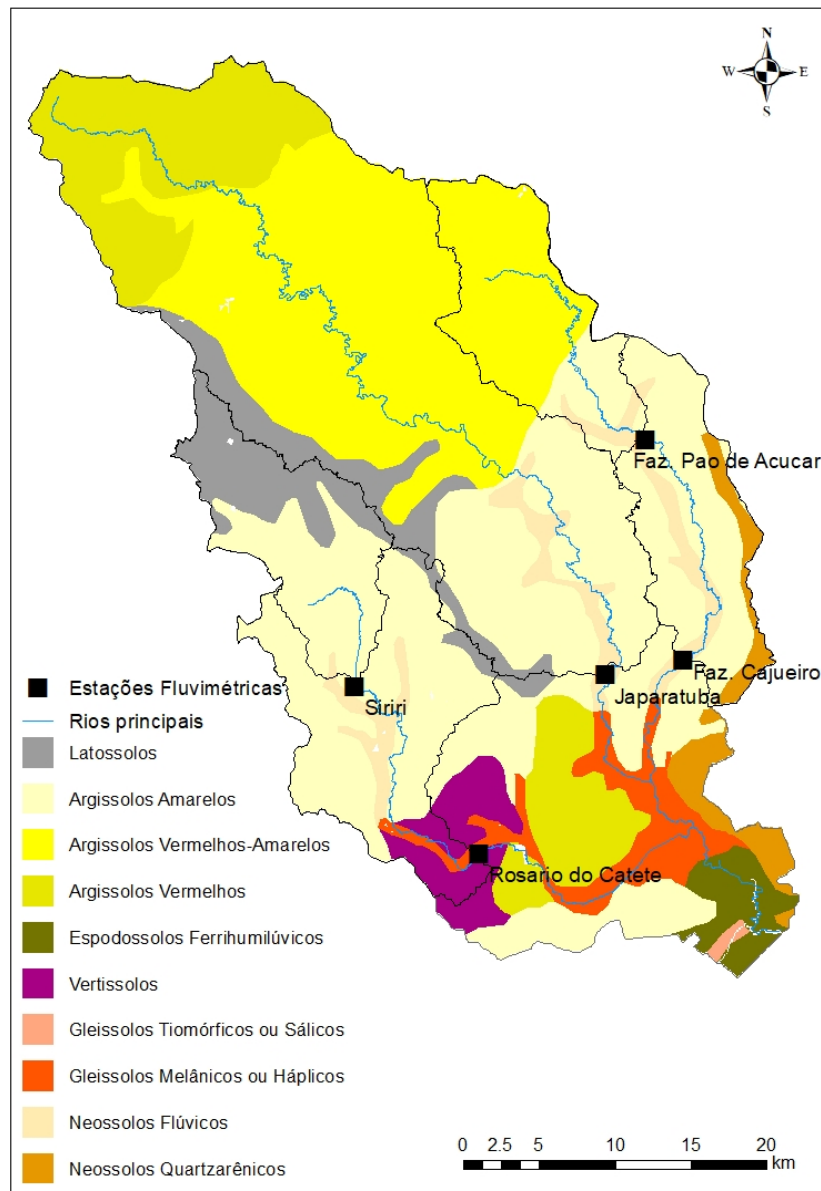


Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Tipos e usos do solo predominantes na Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba

No levantamento de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba realizado por Cruz et al. (2012) foram definidos oito tipos predominantes, conforme pode ser visto na Figura 4, Latossolos, Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos-Amarelos, Neossolos Flúvicos, Neossolos quartzarenicos, Gleissolos melânicos ou haplicos e Vertissolos.

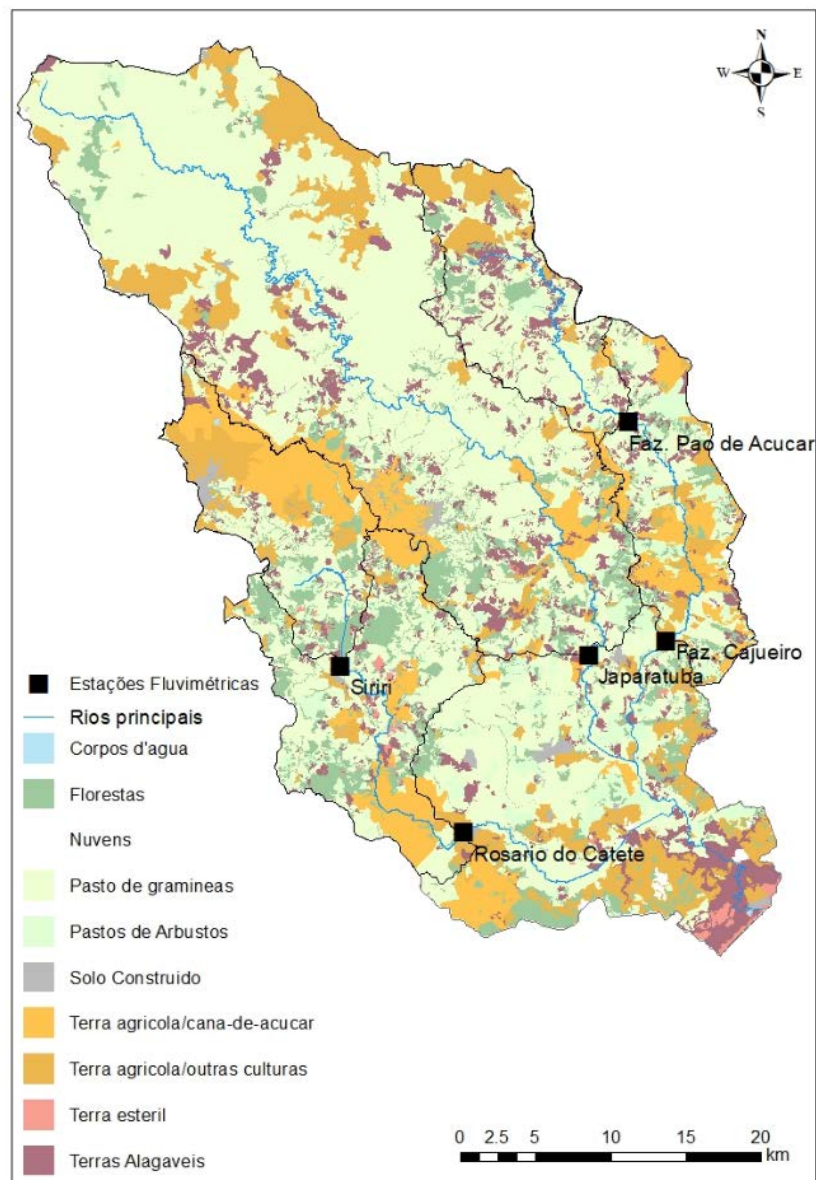
Figura 4. Tipos de solos predominantes na Bacia do Rio Japaratuba.



Fonte: Cruz et al. (2012).

Em relação ao uso, ilustrado na Figura 5, a análise de Cruz et al. (2012) demonstra maiores proporções para pastagens de gramíneas e cultivo agrícola. As demais são divididas em terra estéril, terras alagáveis, solo construído, pastos de arbustos, corpos d'água e florestas.

Figura 5. Uso da terra na Bacia do Rio Japaratuba.



Fonte: Cruz et al. (2012).

Nos gráficos que seguem pôde-se evidenciar em cada sub-bacia o tipo e o uso predominante do solo a fim de subsidiar as discussões nos resultados e identificar possíveis correlações com o comportamento das vazões na bacia do Rio Japaratuba.

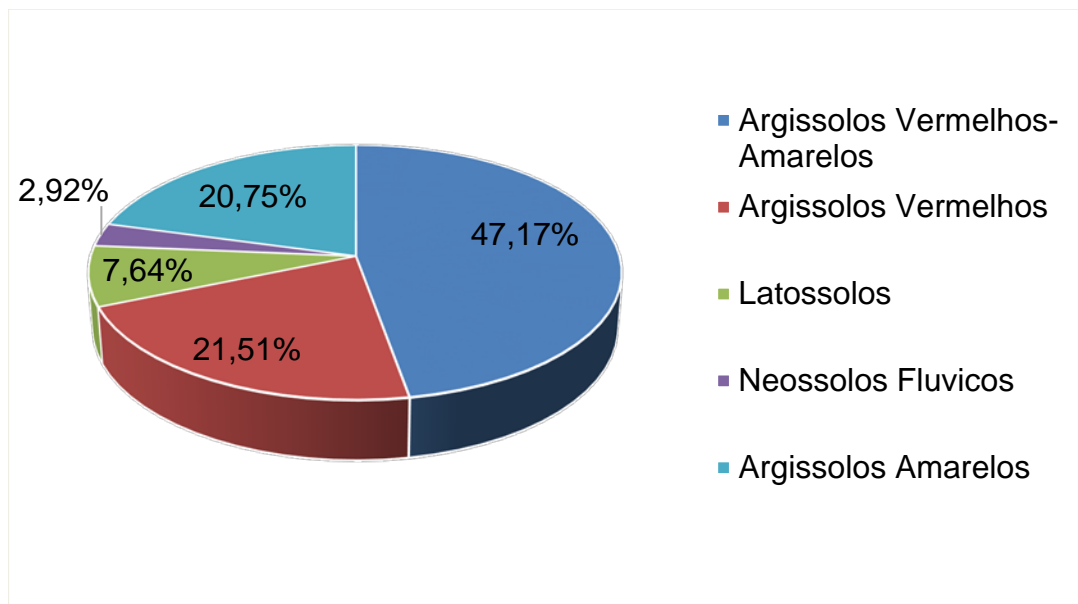
a) Sub-bacia do Rio Japaratuba - Estação Japaratuba

A área abrangente pela Estação Japaratuba no Rio Japaratuba, 735,88 Km², demonstra predominância de solo do tipo Argissolos Vermelhos-Amarelos, Vermelhos e Amarelos (Figura 6) em 658,16 Km². Estes tipos de solo por possuírem

acumulação de argila e textura variando de arenosa/média até média/muito argilosa, acarretam uma drenagem deficiente. De acordo com o estudo realizado por Sartori et al. (2005), os Argissolos Vermelho-Amarelos, predominantes nesta região, enquadram-se no grupo hidrológico C e D e, apesar de necessitar de estudos mais específicos sobre o tipo de solo para o enquadrar em um dos grupos, destaca-se que a capacidade de infiltração vai de baixa a muito baixa.

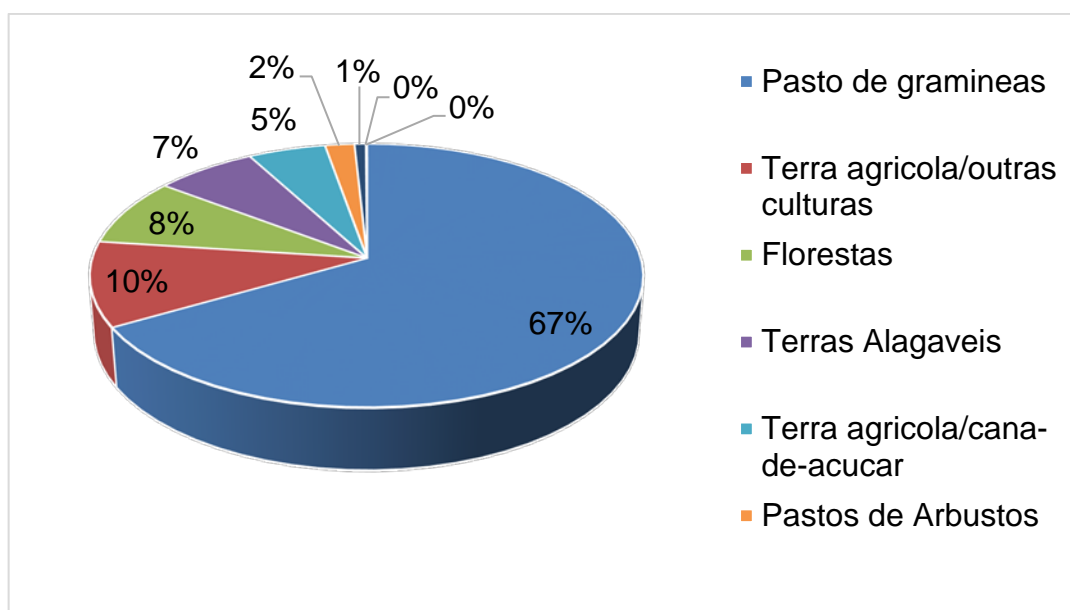
Em 66,66% da área que compreende a estação Japarutuba (Figura 7) o solo é coberto por pasto de gramíneas, o que significa propiciar a redução da evapotranspiração, reduzir taxas de infiltração, restringir o abastecimento de aquíferos, aumentar o escoamento superficial e as vazões médias. (LATUF, 2007)

Figura 6. Tipos de solo predominantes na estação Japarutuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7. Usos predominante do solo na estação Japaratuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

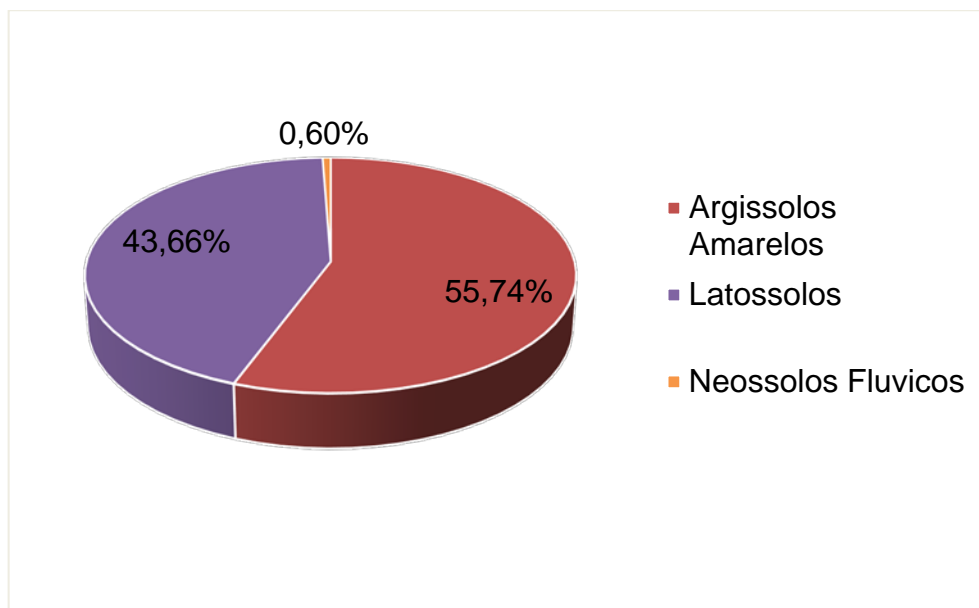
b) Sub-bacia do Rio Siriri - Estação Siriri

A estação Siriri abrange uma área de 128,20 Km², em 55,74% é composta por Argissolos Amarelos e 43,66% em Latossolos (Figura 8). Os Argissolos desfavorecem a drenagem devido a predominância de argila, como visto anteriormente no estudo de Sartori et al. (2005), os Argissolos Amarelos enquadram-se nos grupos hidrológicos C e D, com baixa a muito baixa taxa de infiltração.

Já os Latossolos, outra parte significativa da composição do solo da região, são aqueles compostos por argila na maior proporção e silte na menor proporção, são porosos, bem drenados e bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, enquadram-se nos grupos A e B dos grupos hidrológicos definidos por Sartori et al. (2005), caracterizando a taxa de infiltração entre alta a moderada.

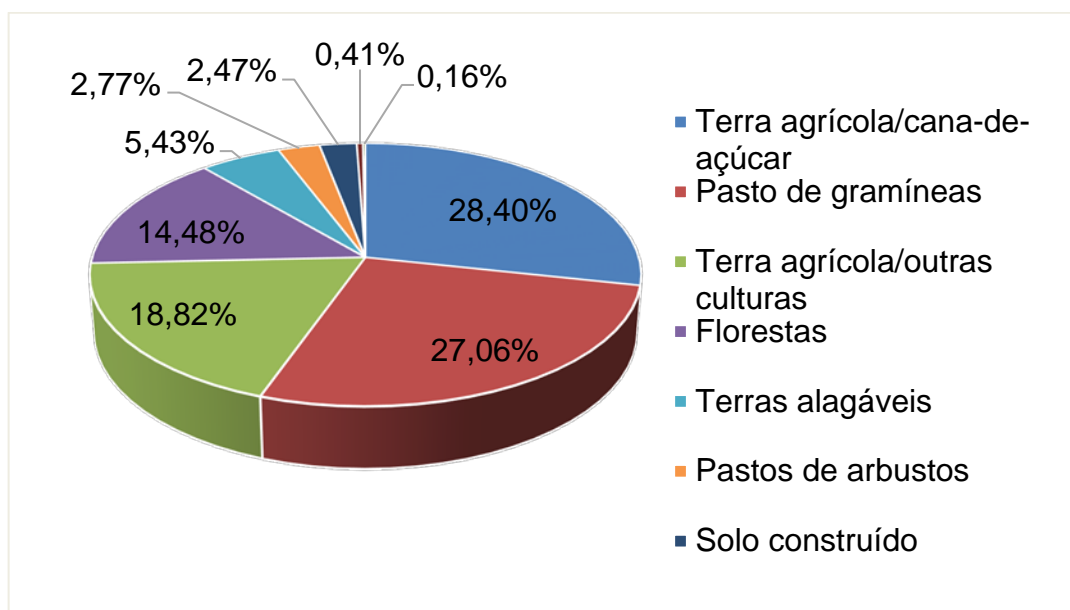
A utilização desse solo é destinada predominantemente para cultivo agrícola/cana-de-açúcar, 28,40%, pasto de gramíneas, 27,06%, e outras culturas agrícolas, 18,82% (Figura 9).

Figura 8. Tipos de solo predominantes na estação Siriri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9. Usos predominantes do solo na estação Siriri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

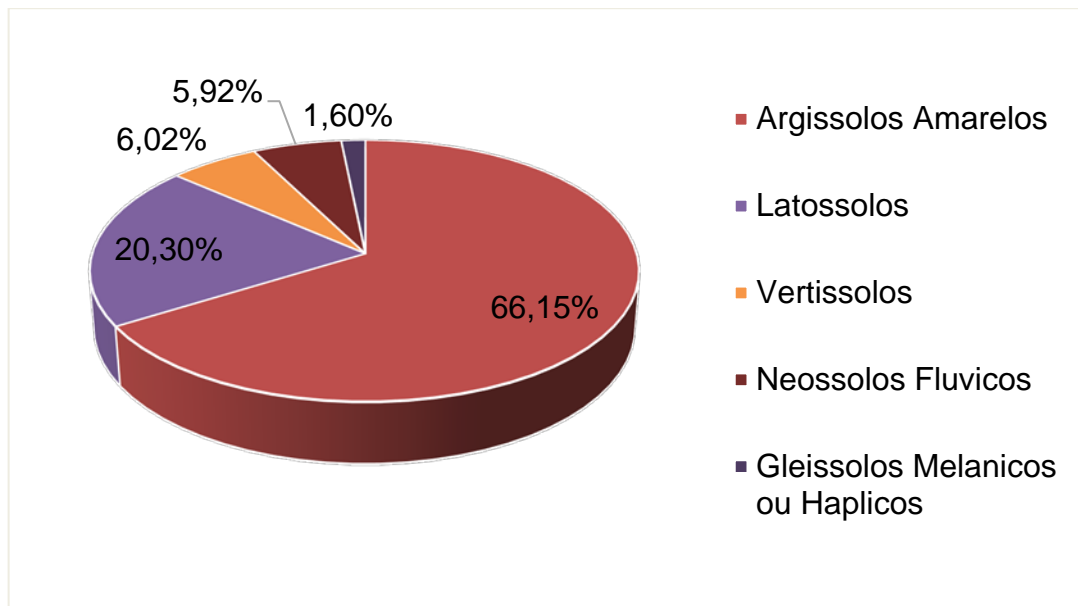
c) Sub-bacia do Rio Siriri - Estação Rosário do Catete

Na estação de medição Rosário do Catete evidencia-se a predominância de Argissolos Amarelos em 66,15% na área da sub-bacia do Rio Siriri desfavorecendo a drenagem (Figura 10). Assim como na estação Siriri, o solo é enquadrado no estudo

de Sartori et al. (2005) nos grupos hidrológicos C e D, que vão de baixa a muito baixa taxa de infiltração.

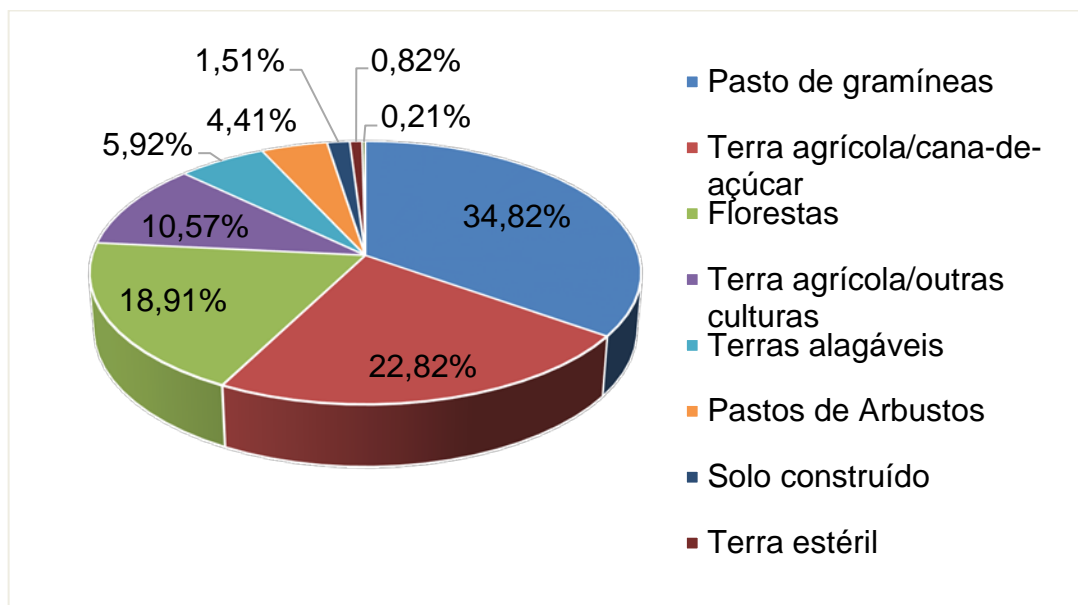
Em uma área de 307,63 Km², 34,82% deste solo é coberto por pasto de gramíneas, 22,82% por cultivo agrícola/cana de açúcar, 18,91% por florestas (Figura 11).

Figura 10. Tipos de solo predominantes na estação Rosário do Catete.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11. Usos predominantes do solo na estação Rosário do Catete.



Fonte: Elaborado pelo autor.

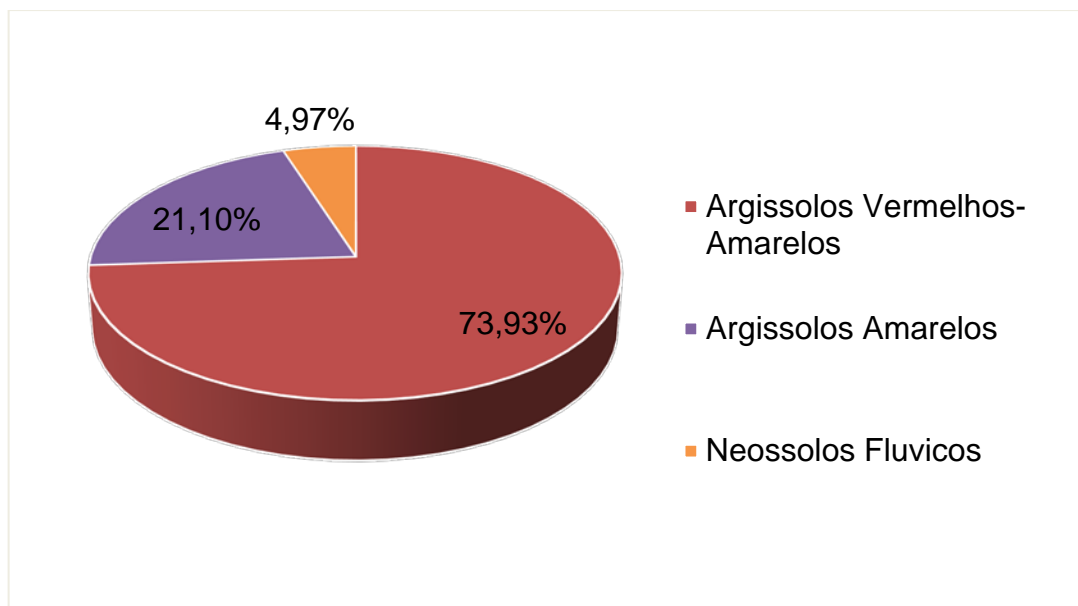
d) Sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim - Estação Fazenda Pão de Açúcar

Na área abrangente pela estação Fazenda Pão de Açúcar na sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim, 136,34 Km², a predominância é de Argissolos Vermelho-Amarelos, 74%, cuja característica é de restringir a drenagem (Figura 12).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos estão dentro dos grupos hidrológicos C e D com capacidade de infiltração indo de baixa a muito baixa. (SARTORI et al., 2005)

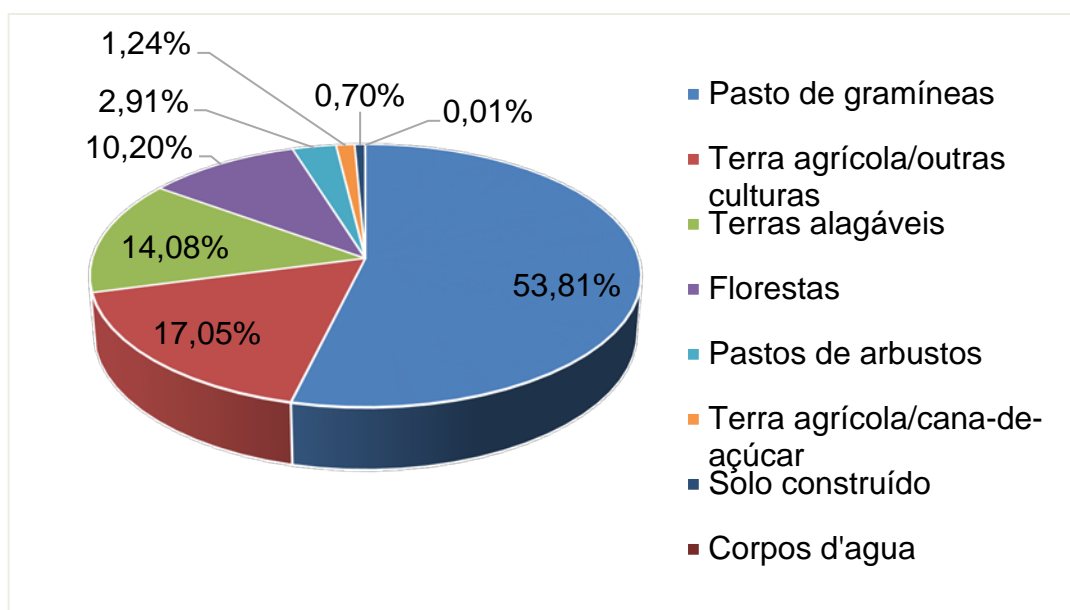
Cerca de 54% dessa área é coberta por pasto de gramíneas (Figura 13). Outras partes menores são destinadas a terras agrícolas, terras alagáveis e florestas.

Figura 12. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

e) Sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim - Estação Fazenda Cajueiro

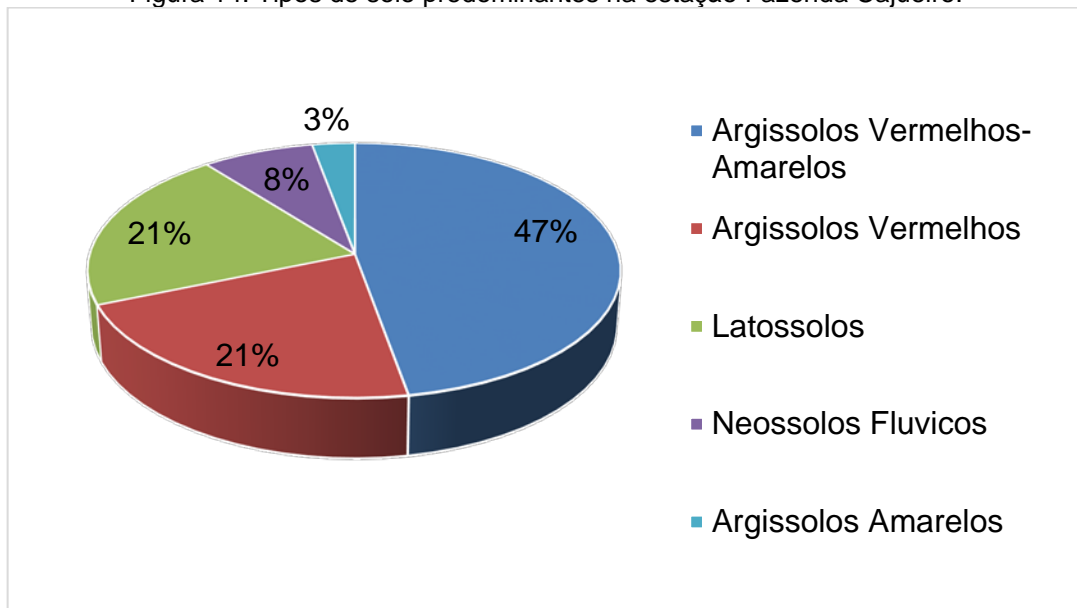
Pela Figura 14 observa-se que a área da estação Fazenda Cajueiro na sub-bacia do Rio Japaratuba Mirim tem predominância de Argissolos Amarelos, 48%, e Argissolos Vermelho-Amarelos, 37%.

Tanto os Argissolos Amarelos quanto os Argissolos Vermelho-Amarelos enquadram-se nos grupos hidrológicos C e D, com baixa a muito baixa taxa de infiltração. (SARTORI et al., 2005)

Com um total de 271,60 Km², o local é ocupado 41,64% por pasto de gramíneas, cerca de 27% por cultivos agrícolas, 11,38% por terras alagáveis e 10,43% por florestas (Figura 15).

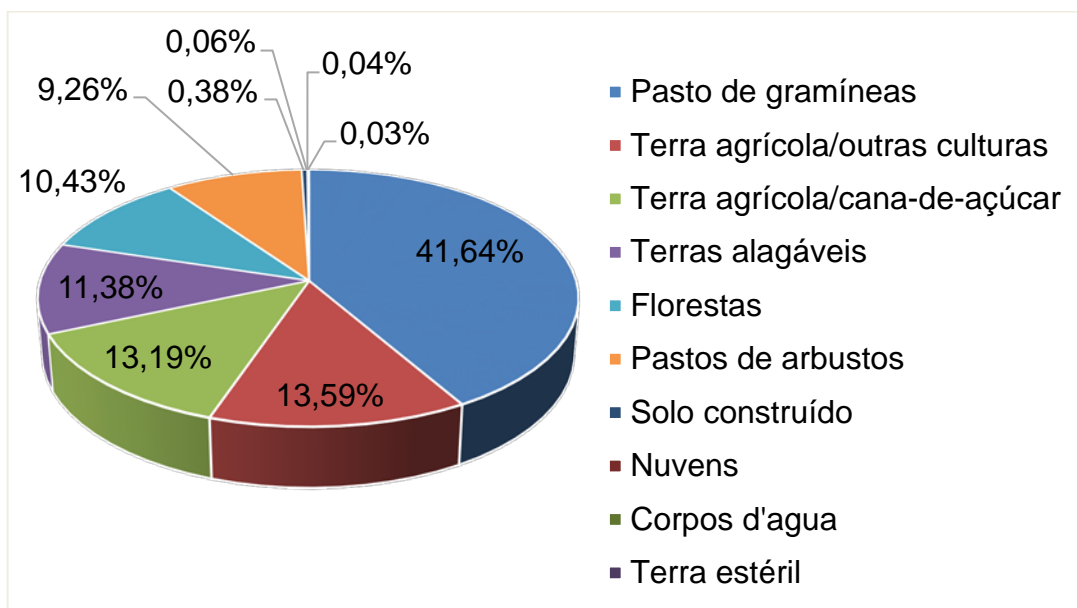
Como visto anteriormente em estudos sobre o tema, a cobertura do solo por pasto faz com que a capacidade de evapotranspiração, infiltração e alimentação do aquífero seja reduzida, além de aumentar o escoamento superficial (vazões máximas). (SANTOS, 2003)

Figura 14. Tipos de solo predominantes na estação Fazenda Cajueiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15. Usos predominantes do solo na estação Fazenda Cajueiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Dados Hidrológicos

As informações hidrológicas de vazão e precipitação utilizadas no estudo são provenientes de registros das estações mantidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), que disponibiliza os dados diários em seu portal HidroWeb.

3.3.1 Vazão

As séries fluviométricas disponíveis para a região abrangem dados de vazões do período de 1969 a 2017, fornecidas a partir do monitoramento diário de vazões no rio realizado através de cinco estações fluviométricas. (Tabela 1 e Figura 16)

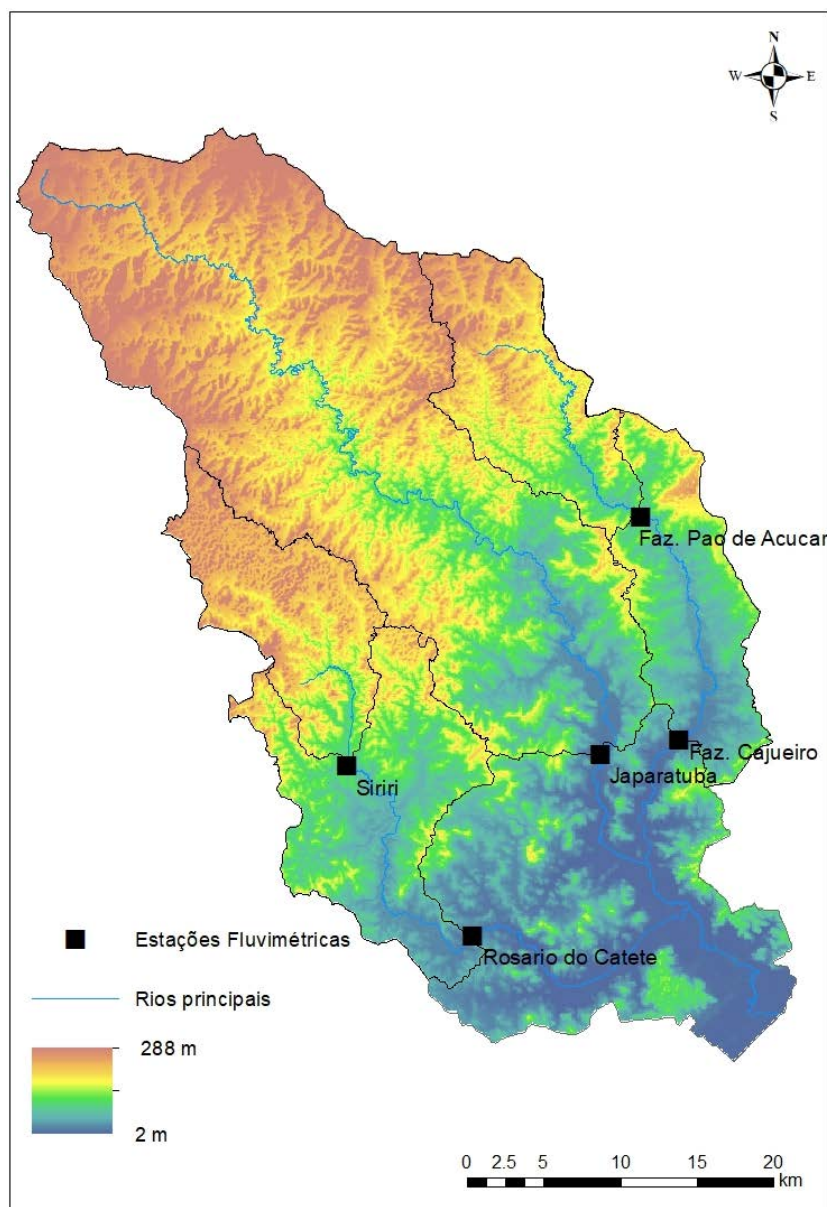
Os dados levantados na atividade foram submetidos a uma análise exploratória em horizontes de 20 anos deslocados ano a ano na série (Figura 17) com fins de verificação da consistência dos dados bem como da avaliação das lacunas que existiam. Os anos inconsistentes foram excluídos e, a partir disto, fez-se possível determinar as vazões de referência (máxima, mínima e a média).

Tabela 1. Estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Japaratuba.

Estações - Vazão				
Código ANA	Nome	Rio	Latitude	Longitude
50043000	Fazenda Cajueiro	Japaratuba Mirim	-10:34:50	-36:54:50
50042000	Fazenda Pão de Açúcar	Japaratuba Mirim	-10:26:56	-36:56:16
50046000	Siriri	Siriri	-10:35:50	-37:6:44
50047000	Rosário do Catete	Siriri	-10:41:49	-37:2:11
50040000	Japaratuba	Japaratuba	-10:35:22	-36:57:39

Fonte: Elaborado pelo autor.

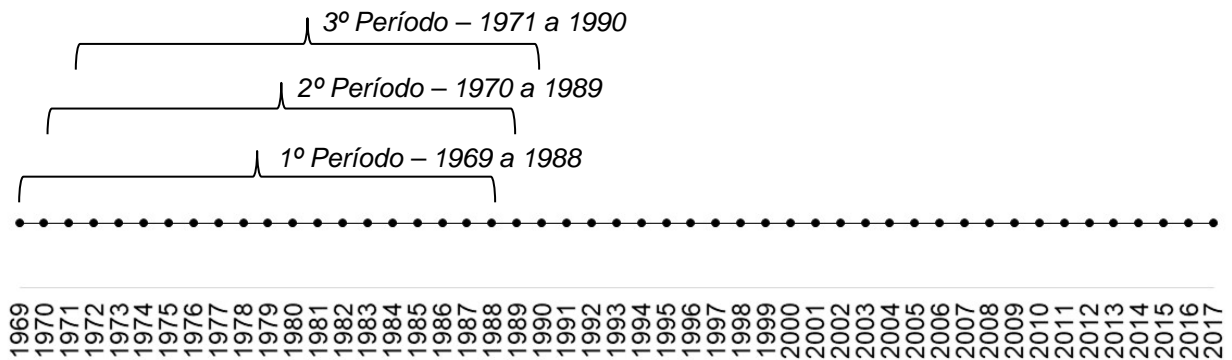
Figura 16. Estações fluviométricas e altimetria da bacia do Rio Japaratuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a exclusão dos anos com poucos registros, as curvas de permanência foram produzidas para os períodos avaliados a partir da análise de ordem. Realizou-se a enumeração da quantidade de registros organizados em ordem crescente gerando-se a curva entre valores de vazão (m^3/s) e da frequência relativa acumulada (%). A Q_{90} e a Q_{50} , que representam a vazão presente no rio 90% e 50% do tempo, obtidos a partir desta análise.

Figura 17. Ilustração da escala temporal utilizada para análise fluviométrica e pluviométrica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1.1 Distribuições estatísticas

Para a obtenção das vazões mínimas de referência foram ajustadas funções de probabilidade do tipo Empírica, Normal, Gumbel e Weibull, e para as vazões máximas de referência as distribuições Empírica, Normal, Log-Normal, Log-Pearson Tipo III e Gumbel, a fim de estabelecer: $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e 10 anos de período de retorno), Q_{TR10} (vazão máxima de 10 anos de período de retorno) e Q_{TR50} (vazão máxima de 50 anos de período de retorno), conforme literatura apresentada por Collischonn e Tassi (2008).

A distribuição empírica para a análise das vazões mínimas consiste em selecionar as vazões mínimas do ano, reorganizá-las em ordem crescente e atribuir uma probabilidade empírica (P) a cada uma das vazões máximas da série, utilizando a fórmula de Weibulll:

$$P = \frac{m}{n + 1}$$

Onde, n é o tamanho da amostra (número de anos); e m é a ordem da vazão (para a maior vazão $m=1$ e para a menor vazão $m=N$). Posteriormente, o tempo de retorno é estimado por:

$$TR = \frac{1}{P}$$

Paras as vazões máximas, o procedimento é similar, mas as vazões máximas de cada ano são reorganizadas em ordem decrescente.

Já a distribuição Normal, podem ser estimadas por:

$$x = \bar{x} + K * s$$

Onde x é a vazão máxima para uma dada probabilidade; \bar{x} é a média das vazões máximas anuais; e s é o desvio padrão das vazões máximas anuais. O valor de K é obtido de tabelas de distribuição normal descritas no Anexo A e no Anexo B.

Para superar o problema de ajuste das vazões máximas que não seguem a distribuição Normal devido a apresentação de fortes assimetrias positivas, a Log-Normal é a mais simples das distribuições onde a suposição é que os logaritmos das vazões sigam a distribuição normal partindo da equação:

$$\log(x) = \log(\bar{x}) + K \cdot S_{\log x}$$

Onde $\log(x)$ é o logaritmo da vazão máxima; $\log(\bar{x})$ é a média dos logaritmos das vazões máximas anuais observadas; $S_{\log x}$ é o desvio padrão dos logaritmos das vazões máximas anuais observadas. O valor de K é obtido das tabelas de distribuição de probabilidade (Anexo C). Para realizar a análise por Log-Normal foram obtidas as vazões máximas de N anos, calculados os logaritmos das vazões máximas, a média e o desvio padrão dos logaritmos das vazões máximas. Obteve-se o valor de z para a probabilidade correspondente ao tempo de retorno de x anos, o valor do logaritmo da vazão de tempo de retorno de x anos a partir da equação acima e o valor da vazão através da função inversa do logaritmo.

A distribuição Log-Pearson Tipo III pode ser descrita por três parâmetros: a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria, estimada pela mesma equação da Log-Normal, entretanto o valor de K é obtido de outra tabela.

A distribuição de Gumbel, retrata a probabilidade de que uma determinada vazão venha a ser igualada ou excedida em um ano qualquer através da equação:

$$P = 1 - e^{-e^{-b}}$$

Onde P é a probabilidade; e é a base dos logaritmos naturais e b é dado por:

$$b = \frac{1}{0,7797 \cdot s} \cdot (x - \bar{x} + 0,44 \cdot s)$$

Onde x é a vazão máxima; \bar{x} é a média das vazões máximas anuais; e s é o desvio padrão das vazões máximas anuais.

Já a distribuição de Weibull, foi utilizada para a estimativa de vazões mínimas de alto tempo de retorno. As equações utilizadas são:

$$x = \bar{x} + K \cdot s$$

O valor de K foi obtido por:

$$K = A(\lambda) + B(\lambda) \cdot \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right\}$$

Onde T é o tempo de retorno em anos e $A(\lambda)$:

$$A(\lambda) = \left[1 - \Gamma \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right] \cdot B(\lambda)$$

E $B(\lambda)$:

$$B(\lambda) = \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\lambda} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right]^{\frac{-1}{2}}$$

Onde,

$$\lambda = \frac{1}{H_0 + H_1 \cdot G + H_2 \cdot G^2 + H_3 \cdot G^3 + H_4 \cdot G^4}$$

Para:

$$-1,0 \leq G \leq 2$$

Onde,

$$H_0 = 0,2777757913$$

$$H_1 = 0,3132617714$$

$$H_2 = 0,0575670910$$

$$H_3 = - 0,0013038566$$

$$H_4 = - 0,0081523408$$

E onde G é o coeficiente de assimetria; e onde $\Gamma(.)$ é a função Gama, que é uma generalização da função fatorial para números reais não inteiros, dada por:

$$\Gamma(w) = \int_0^{\infty} x^{w-1} \cdot e^{-x} dx$$

As vazões médias de longo período foram calculadas pela média aritmética simples das vazões diárias da série histórica das estações fluviométricas. Estes procedimentos estatísticos desenvolveram-se por meio de planilhas eletrônicas e do programa R de uso livre.

Estas distribuições foram selecionadas por se mostrarem as mais comumente aplicadas na bacia em outros estudos, dentre eles, Finkler et al. (2015) aplicou as funções de distribuição de probabilidade teórica Weibull, Normal, Log-Normal, Gumbel (mínimos), Log-Pearson e Pearson aos dados mensais de vazões mínimas de sete dias consecutivos da bacia hidrográfica do Arroio Belo, localizado no município de Caxias do Sul/RS. Os resultados obtidos comprovam que a distribuição

Pearson Tipo III demonstra maior precisão na representação dos dados mensais da série histórica e alcança o melhor ajuste do valor da vazão mínima.

Martinelli (2017) testou diferentes modelos de probabilidade para realizar a caracterização física e hidrológica da bacia do rio Gualaxo do Norte - Minas Gerais, sendo observado uma superioridade do modelo Log-Normal no caso das séries de chuvas máximas e das séries de vazões máximas e mínimas, e dos modelos Pearson Tipo III e Gumbel no caso da série de vazões Q_7 .

3.3.1.2 *Teste Kolmogorov-Smirnov*

Os testes de aderência servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004).

De acordo com Catalunha et al. (2002), o teste de Kolmogorov-Smirnov “é baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparada com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste”.

A adequação dos modelos probabilísticos às séries de vazões foi verificada pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de significância de 5%, conduzido pelo aplicativo computacional EasyFit (MathWave).

3.3.2 Precipitação

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos a partir de registros das estações Capela, Santa Rosa de Lima e Fazenda Cajueiro em séries históricas da precipitação (mm) total mensal. A informação das chuvas foi espacializada por meio da determinação das áreas de influência de cada estação nas sub-bacias contribuintes aos locais de monitoramento de vazões (Figura 18).

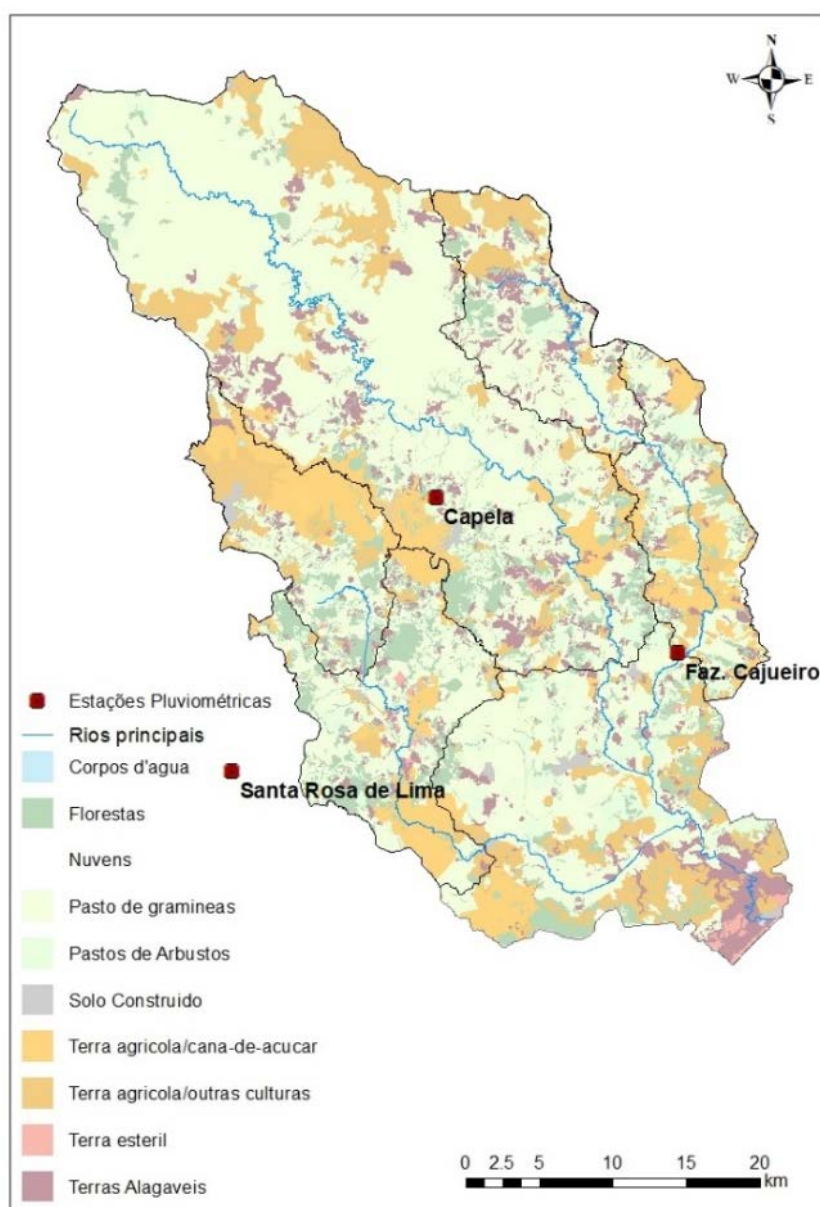
A análise dos dados de precipitação também foi realizada a cada 20 anos (Figura 17) a fim de verificar o ciclo anual de chuvas da região e suas possíveis alterações nestes, para fins de avaliar uma possível influência das precipitações nas alterações dos regimes hidrológicos nos rios da bacia.

Tabela 2. Estações pluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Japaratuba.

Estações - Chuva				
Código ANA	Nome	Rio	Latitude	Longitude
1037078	Capela	Japaratuba	-10:48:33	-37:06:67
1037049	Santa Rosa de Lima	Siriri	-10:65:28	-37:19:28
1036063	Fazenda Cajueiro	Japaratuba Mirim	-10:57:81	-37:91:56

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18. Estações pluviométricas e uso e cobertura da terra atual na bacia do Rio Japaratuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Parâmetros de avaliação

As séries resultantes dos valores de vazão de referência obtidas para os períodos de 20 anos intercalados em cada estação fluviométrica foram submetidas a análises estatísticas por meio da determinação de seus valores máximo, mínimo e médios, bem como pela avaliação dos coeficientes de variação. Para a comparação e análise da possível influência de mudanças nas precipitações sobre as alterações de regimes das vazões, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson e aplicado o teste de avaliação de tendência de Mann Kendal. Estas técnicas estão descritas em maior detalhe nos itens subsequentes.

3.4.1 Coeficiente de variação

O coeficiente de variação trata-se de uma medida de dispersão entre grandezas diferentes, sendo expresso em porcentagem e obtido através da divisão do desvio padrão das vazões de referência e precipitações pelas respectivas médias. Quanto maior o coeficiente de variação mais dispersos estão os dados em torno da média. (GUIMARÃES, 2015)

A classificação do coeficiente de variação foi realizada segundo metodologia aplicada por Vörösmart et al. (2005) em que os valores são baixos quando $CV < 0,25$, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando $CV > 0,75$.

3.4.2 Correlação de Pearson

Para avaliar o grau de relacionamento entre duas variáveis deste estudo, vazão e precipitação, foram utilizadas técnicas associadas a análise de correlação de Pearson aplicadas em planilhas eletrônicas.

O coeficiente de correlação pode ser obtido a partir da seguinte equação:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1)S_x S_y}$$

Onde,

\bar{x} é a média da amostra para a primeira variável;

S_x é o desvio padrão para a primeira variável;

\bar{y} é a média da amostra para a segunda variável;

S_y é o desvio padrão para a segunda variável;

n é o comprimento da coluna.

A interpretação de o quanto uma variável chuva interfere no comportamento das vazões foi parametrizado por:

- a) Quando a relação é positiva a correlação se aproximará ou tomará o valor 1, uma relação perfeita e diretamente proporcional;
- b) Quando a relação é negativa a correlação se aproximará ou tomará o valor -1, uma relação perfeita e inversamente proporcional;
- c) Quando a relação é difusa ou não linear a correlação se aproximará ou tomará o valor 0. (GUIMARÃES, 2017)

A partir disso, Evans (1996) sugere que, para:

- a) Valores entre 0 a 0,19 a correlação pode ser classificada como "muito fraca";
- b) Valores entre 0,20 a 0,39 a correlação pode ser classificada como "fraca";
- c) Valores entre 0,40 a 0,59 a correlação pode ser classificada como "moderada";
- d) Valores entre 0,60 a 0,79 a correlação pode ser classificada como "forte";
- e) Valores entre 0,80 a 1.0 a correlação pode ser classificada como "muito forte".

3.4.3 Teste de tendência de Mann Kendall

De acordo com Ferrari (2012), o teste estatístico não-paramétrico de Mann Kendall foi proposto por Sneyers (1975) e “considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples)”.

Para um conjunto de dados $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, com $n > 4$ o teste de Mann Kendall utiliza as seguintes fórmulas estatísticas:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

Onde a função sign é dada por:

$$\text{sign} = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

A variância de S, denotada por [Var(S)], é definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Com repetições de dados, a variância resulta em:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Onde, g é número de grupos com dados repetidos e t_p é o número de dados no p-ésimo grupo. Logo S e Var (S) são utilizados para o cálculo da estatística Z, com distribuição normal padrão:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \end{cases}$$

$$Z = 0 \text{ se } S = 0$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

A análise considera que uma tendência é positiva ou negativa demonstrando aumento ou diminuição dos dados analisados, sendo indicado pelo “escore” (Z). Outro atributo obtido é o p-value que, sendo menor que $\alpha = 0,05=5\%$, determina tendência significativa. O teste estatístico de Mann Kendall foi realizado através do software R.

Por meio desse teste estatístico avaliou-se a existência ou não de tendências de mudanças nas precipitações e nas vazões de referência para os períodos analisados, os resultados obtidos serão discutidos nos itens que seguem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas na estação Japaratuba abrangeram, em média, 6026 dados de vazão diária de 1969 a 2017; na estação Siriri 4837 dados no período de 1973 a 2010; na estação Rosário do Catete 6094 dados entre 1973 a 2017; na estação Fazenda Cajueiro 6753 dados entre 1973 a 2017 e na estação Fazenda Pão de Açúcar 5714 dados de 1975 a 2017. As quantidades de dados utilizadas em cada período de 20 em 20 anos encontram-se listadas no Anexo D.

A quantidade de vazões de referência obtidas para cada estação está descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade obtida de vazões de referência para cada estação fluviométrica.

Estações	Quantidade de vazões de referência
Japaratuba	30
Siriri	19
Rosário do Catete	26
Fazenda Pão de Açúcar	16
Fazenda Cajueiro	24

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que a distribuição estatística que melhor se ajustou para as séries de dados de vazão mínima da estação Fazenda Cajueiro e Fazenda Pão de Açúcar foi a distribuição de Weibull. Nos dados utilizados para a análise das estações Japaratuba, Rosário e Siriri, a distribuição de Gumbel teve melhores ajustes.

Os valores de vazão máxima aplicados nas análises da estação Fazenda Pão de Açúcar, Japaratuba, Rosário e Siriri obtiveram melhores ajustes para a distribuição Gumbel, já a estação Fazenda Cajueiro se adequou melhor à Log-Normal.

Outro estudo realizado na mesma bacia por Cruz (2009), também utilizou a distribuição de Weibull para realizar o ajuste estatístico das vazões mínimas e a distribuição de Gumbel para as vazões máximas a fim de realizar uma análise do comportamento hidrológico do rio Japaratuba, onde as mesmas apresentaram um ajuste adequado segundo o teste de Kolmogorov Smirnov. A utilização de distribuições estatísticas e de curva de permanência possibilitou importantes informações para o entendimento do regime hidrológico do rio.

4.1 Análise do comportamento das variáveis hidrológicas

As análises estatísticas bem como os indicadores estatísticos obtidos para as seis vazões de referência de cada sub-bacia contribuinte às cinco estações fluviométricas para os períodos intercalados de 20 anos foram realizadas e estão descritas a seguir.

4.1.1 Estação Japarutuba

A partir da Tabela 4 pode-se verificar o resultado das análises estatísticas realizadas para a estação Japarutuba e realizar a interpretação com os parâmetros adotados.

Tabela 4. Tabela estatística da estação Japarutuba.

	Chuva média anual (mm)	MÍNIMAS		MÉDIAS		MÁXIMAS	
		Q _{7,10} (L/s)	Q ₉₀ (L/s)	Q ₅₀ (m³/s)	Q _{MÉDIA} (m³/s)	Q _{TR10} (m³/s)	Q _{TR50} (m³/s)
Mínimo	1198,33	66,32	256,2	0,99	2,69	39,68	48,81
Máximo	1525,66	174,55	411,85	1,4	3,94	60,51	101,07
Média	1340,62	136,83	336,18	1,2	3,17	50,14	72,38
Desvio Padrão	87,3	37,15	48,32	0,1	0,41	6,49	15,6
Coeficiente de Variação**	7%	27%	14%	8%	13%	13%	22%
	Baixo	Moderado	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Correlação com a chuva média***		0,352	0,401	-0,043	-0,188	-0,04	-0,226
		Fraco	Moderado	Muito Fraco	Muito Fraco	Muito Fraco	Fraco
Mann Kendall	0,191	0,792*	0,103	-0,668*	-0,738*	-0,497*	-0,47*

*Tendência considerada para p-value<0,05=5%.

**Classificação considerado valores baixos quando CV<0,25, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando CV>0,75.

***Classificação considerando valores entre 0 a 0,19 "muito fraco", 0,20 a 0,39 "fraco", 0,40 a 0,59 "moderado", 0,60 a 0,79 "forte", 0,80 a 1 "muito forte".

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.1 Chuva média

As análises estatísticas aplicadas para a chuva média da estação pluviométrica Japarutuba evidenciaram que os dados possuem baixa dispersão, de

acordo com o coeficiente de variação, e com o teste de Mann Kendall, a série não apresenta indicativo de possibilidade de tendências. (Tabela 4)

4.1.1.2 Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}

A partir da tabela de análises estatísticas realizadas para a estação Japaratuba, pode-se verificar que o desvio padrão dos dados de $Q_{7,10}$ é menor que o desvio da vazão mínima Q_{90} , porém o coeficiente de variação fica enquadrado em moderado com 27% para a $Q_{7,10}$, e baixo, 14%, para a Q_{90} .

Com o teste de Mann Kendall, verifica-se a possibilidade de tendência crescente na série da $Q_{7,10}$. A análise pluviométrica não indica tendência em sua série, a correlação é fraca, positiva, sendo então grandezas diretamente proporcionais.

Para a análise da Q_{90} o teste de Mann Kendall não indicou a presença de tendência significativa na série. A análise de correlação com a precipitação é moderada e diretamente proporcional, estando entre 0,40 a 0,59. Sendo assim, não se evidencia significativas alterações no comportamento da Q_{90} .

Apesar desta região ainda ser coberta em 67% por pasto de gramíneas e com predominância de Argissolos em aproximadamente 69% de sua extensão, é possível que o comportamento da $Q_{7,10}$ esteja sendo influenciado pelas mudanças dos usos e cobertura do solo que vêm ocorrendo na região do Rio Japaratuba onde, a substituição das pastagens por cana-de-açúcar pode resultar em uma maior alimentação dos aquíferos através da irrigação durante o período da estiagem, aumentando as vazões mínimas. (DE ARAGÃO et al., 2013; ARAGÃO e ALMEIDA, 2009)

Nos gráficos apresentados na Figura 19 e na Figura 20 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 19. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Japaratuba.

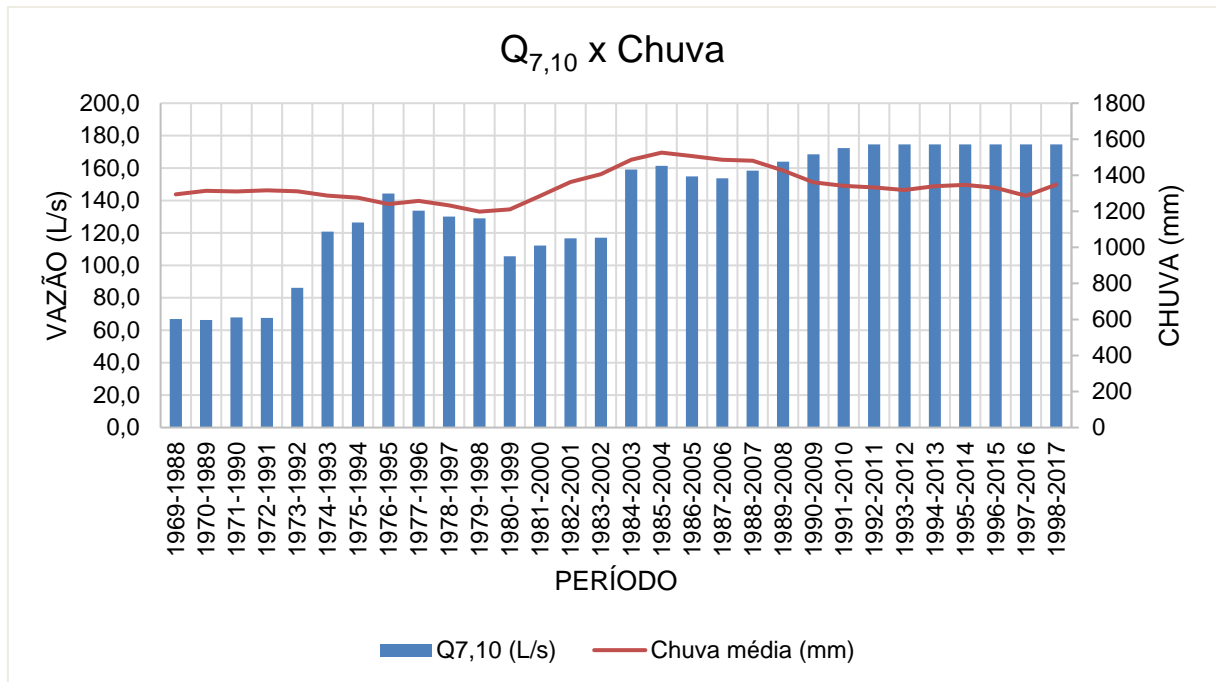
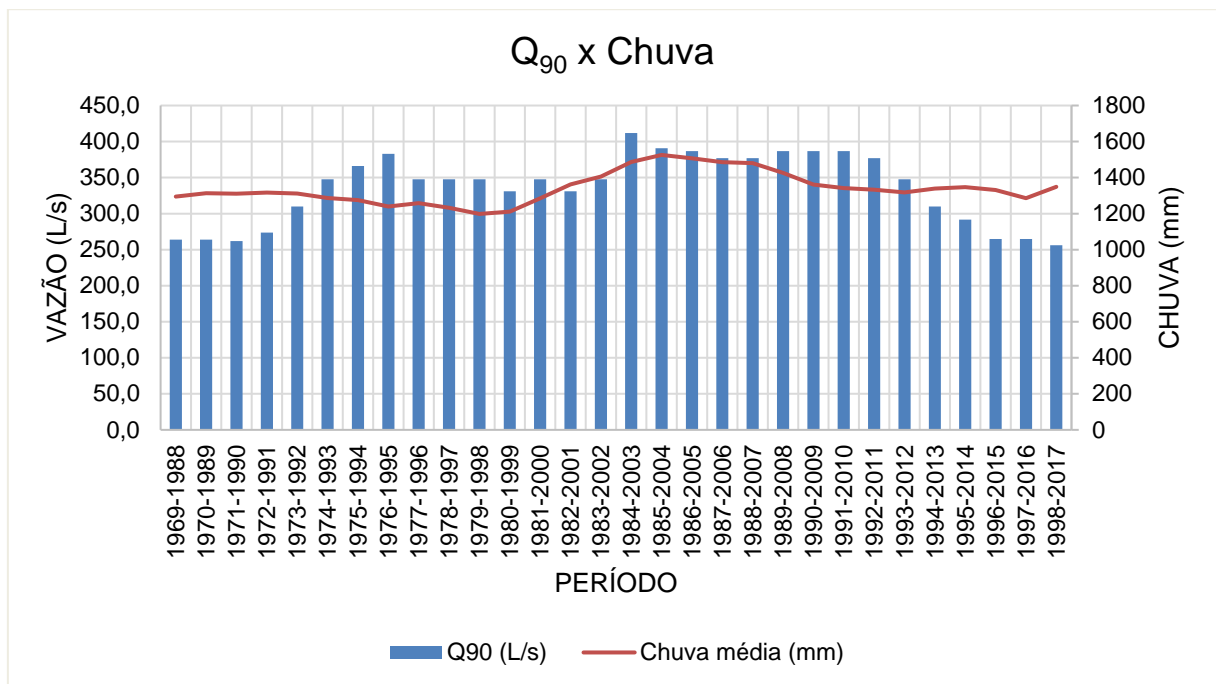


Figura 20. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Japaratuba.



4.1.1.3 Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$

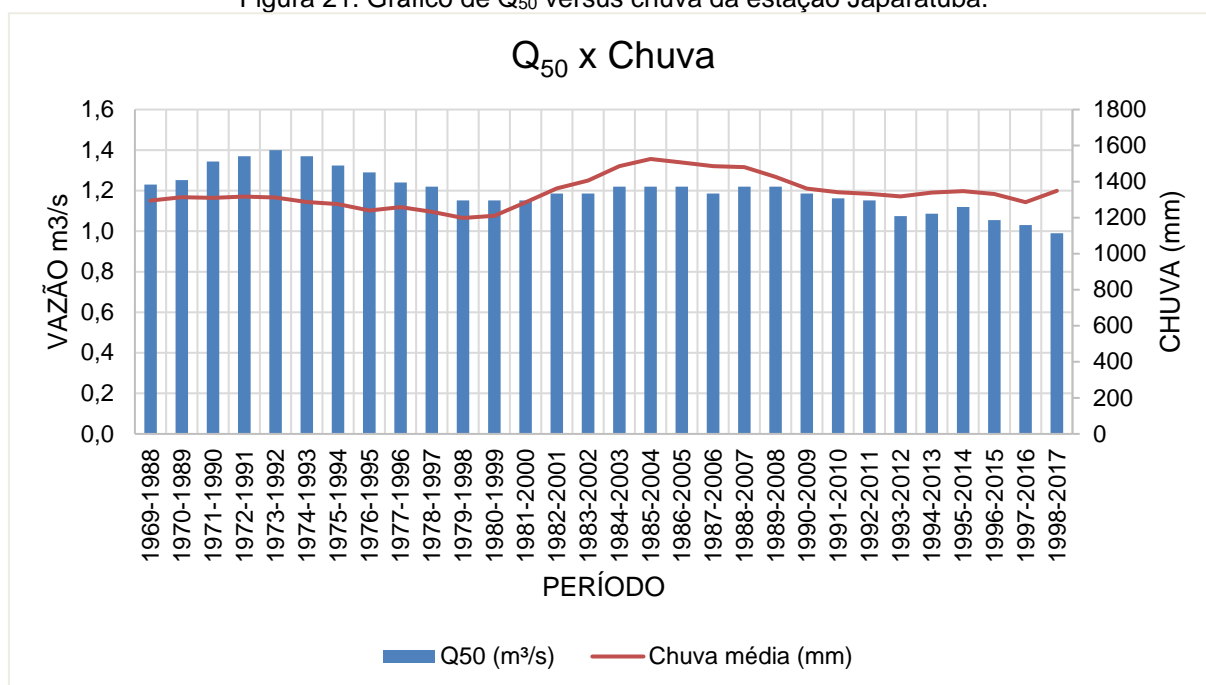
O coeficiente de variação das vazões médias da estação Japarutuba é classificado como “baixo”. Considerada $p\text{-value} < 0,05 = 5\%$, com o teste de Mann Kendall verifica-se que o nível de significância está abaixo de 0,05 nas duas análises e que o índice Tau é negativo, demonstrando tendência decrescente nas séries.

A análise da correlação entre a vazão Q_{50} e a precipitação e entre a vazão $Q_{Média}$ e a precipitação classificam-se em muito fracas, sendo ambas negativas, ou seja, inversamente proporcionais à chuva média.

A partir dos levantamentos de caracterização da bacia realizadas no estudo, é possível que este comportamento esteja relacionado ao solo predominante da região, o Argissolo. Com abrangência de 69% e enquadrado no grupo hidrológico C e D de acordo com classificação de Sartori et al. (2005), destaca-se que a capacidade de infiltração vai de baixa a muito baixa.

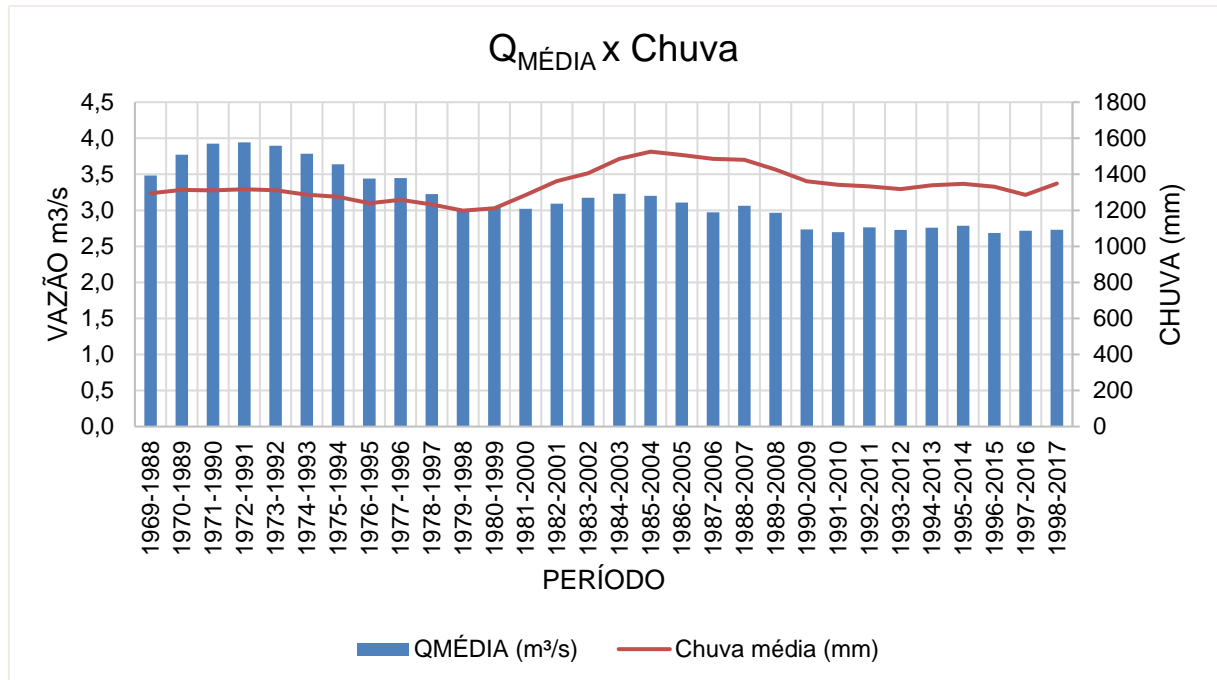
Nos gráficos apresentados na Figura 21 e na Figura 22 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 21. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Japarutuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Japaratuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1.4 Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}

As vazões máximas da análise Q_{TR10} demonstraram baixa dispersão dos dados, de acordo com o coeficiente de variação, e tendência decrescente na série conforme resultado do teste de Mann Kendall. O coeficiente de correlação demonstra que a relação entre a vazão e a precipitação é negativa e muito fraca.

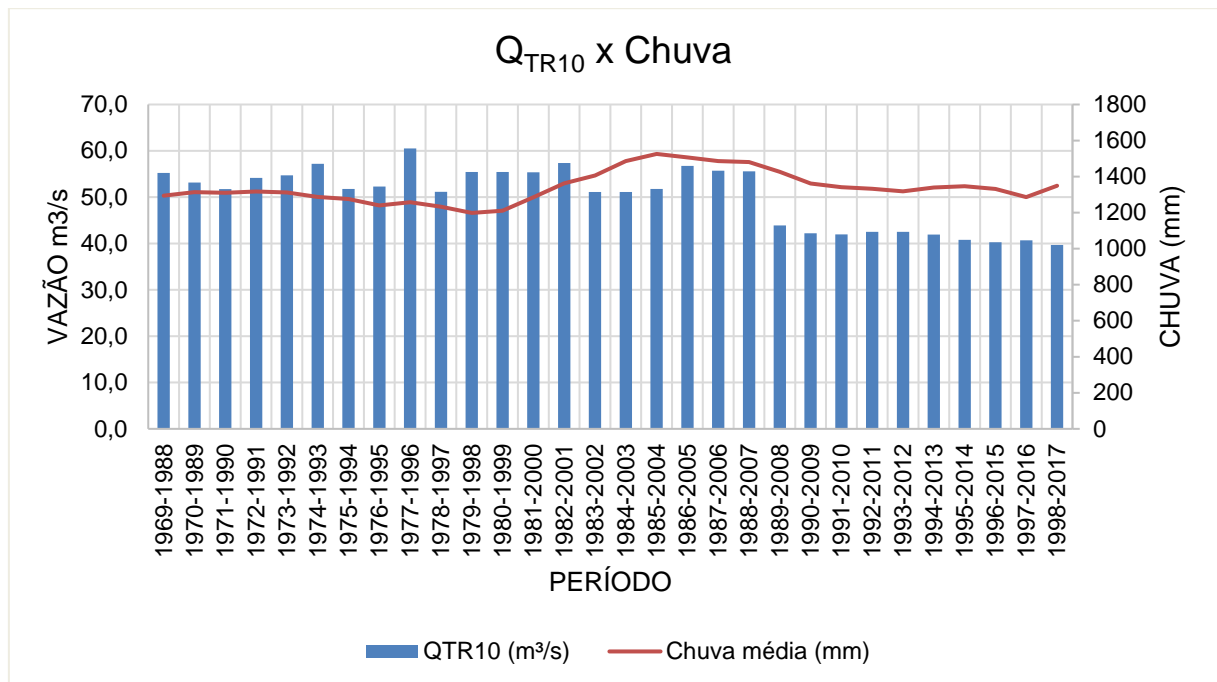
As análises estatísticas das vazões com tempo de retorno de 50 anos demonstraram que o desvio padrão é maior que o apresentado pela Q_{TR10} , mas também se enquadram em baixa dispersão conforme o teste do coeficiente de variação. Também se constata tendência de redução nos valores da série com o teste de Mann Kendall, visto que o nível de significância fica abaixo de 0,05. A análise de correlação com a chuva tem resultado negativo e classificação “fraca”.

Com a redução das vazões máximas e diante da verificação de que a correlação não demonstra interdependência entre as variáveis de vazão e chuva média, emerge-se a necessidade de avaliações com a utilização de chuvas mensais mais detalhadas, tendo em vista a possibilidade de correlações com eventos mais críticos de chuva do que com a chuva média anual adotada como parâmetro neste

estudo. Ressalte-se ainda que dada a dimensão desta sub-bacia, sendo a maior dentre as avaliadas, muitos efeitos de escala podem mascarar a relação entre as chuvas e vazões máximas.

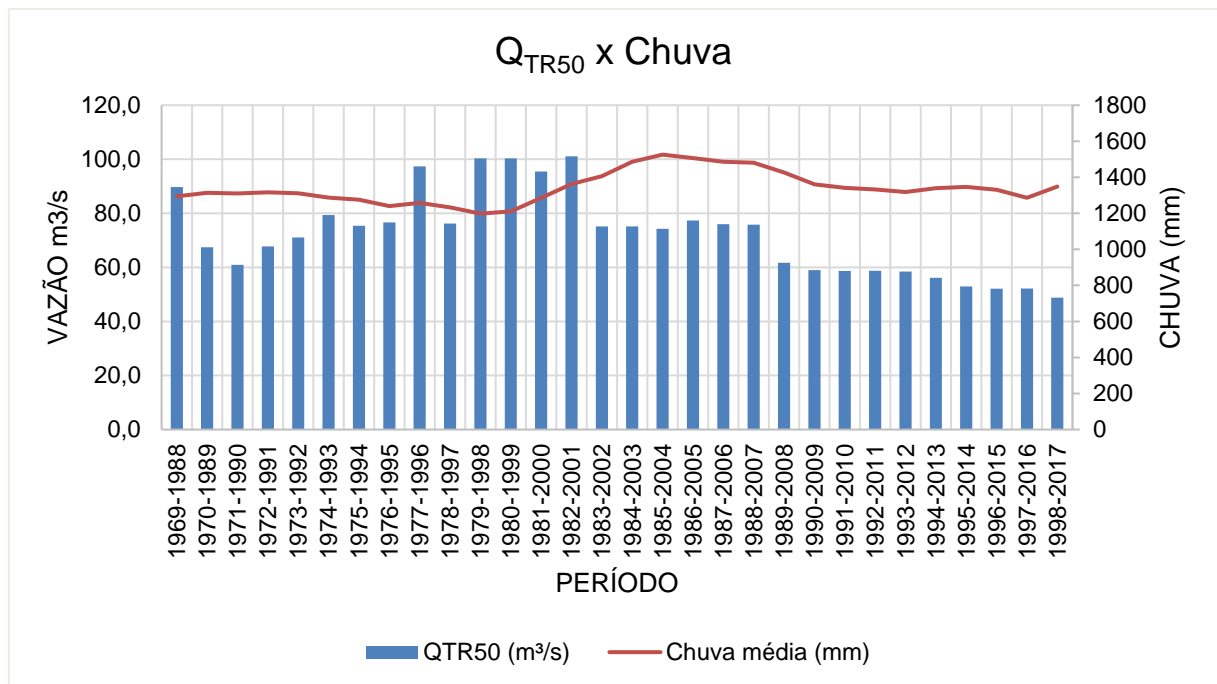
Nos gráficos apresentados na Figura 23 e na Figura 24 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 23. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Japaratuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Japarutuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Estação Siriri

As análises estatísticas realizadas para a estação Siriri encontram-se descritas na Tabela 5, utilizadas para a interpretação do comportamento das séries de vazões mínimas, médias e máximas.

Tabela 5. Tabela estatística da estação Siriri.

	Chuva média (mm)	MÍNIMAS		MÉDIAS		MÁXIMAS	
		$Q_{7,10}$ (L/s)	Q_{90} (L/s)	Q_{50} (m³/s)	$Q_{MÉDIA}$ (m³/s)	Q_{TR10} (m³/s)	Q_{TR50} (m³/s)
Mínimo	1155,46	19,63	160	0,36	0,59	13,95	22,5
Máximo	1330,25	169,75	280	0,56	0,85	27,28	38,98
Média	1253	74,62	196,84	0,42	0,66	21,64	32,23
Desvio Padrão	63,82	60,42	43,98	0,06	0,07	4,58	4,24
Coeficiente de Variação**	5%	81%	22%	14%	11%	21%	13%
	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Correlação com a chuva média***		-0,913	-0,881	-0,664	-0,534	0,882	0,752
		muito forte	muito forte	forte	moderado	muito forte	forte
Mann Kendall	0,567*	-0,743	-0,725	-0,367*	-0,387*	0,732	0,413*

*Tendência considerada para $p\text{-value} < 0,05 = 5\%$.

**Classificação considerado valores baixos quando $CV < 0,25$, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando $CV > 0,75$.

***Classificação considerando valores entre 0 a 0,19 "muito fraco", 0,20 a 0,39 "fraco", 0,40 a 0,59 "moderado", 0,60 a 0,79 "forte", 0,80 a 1 "muito forte".

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.1 Chuva média

As análises estatísticas aplicadas aos dados de chuva da estação Santa Rosa de Lima, demonstram baixa dispersão, caracterizando uma amostra homogênea. Com o teste de Mann Kendall, verifica-se que a tendência $p\text{-value}$ situa-se abaixo de 0,05 e, sendo o índice Tau positivo, a série possui tendência de aumento nos valores médios das precipitações anuais.

4.1.2.2 Vazões mínimas: $Q_{7,10}$ e Q_{90}

A estação Siriri apresenta vazão mínima $Q_{7,10}$ enquadrada nos parâmetros de alto grau de dispersão do coeficiente de variação, 81%, possuindo comportamento mais instável do que a Q_{90} que tem valor correspondente a 22%. Já o teste de Mann Kendall não evidencia a possível tendência nos valores dos dados registrados. Com o coeficiente de correlação negativo alocado na classificação "muito forte", o comportamento da vazão pode estar inversamente relacionado ao comportamento da chuva média.

Já a vazão mínima Q_{90} enquadra-se nos parâmetros de baixa dispersão e, com o resultado do teste de Mann Kendall acima de 0,05, as amostras não demonstram tendência significativa.

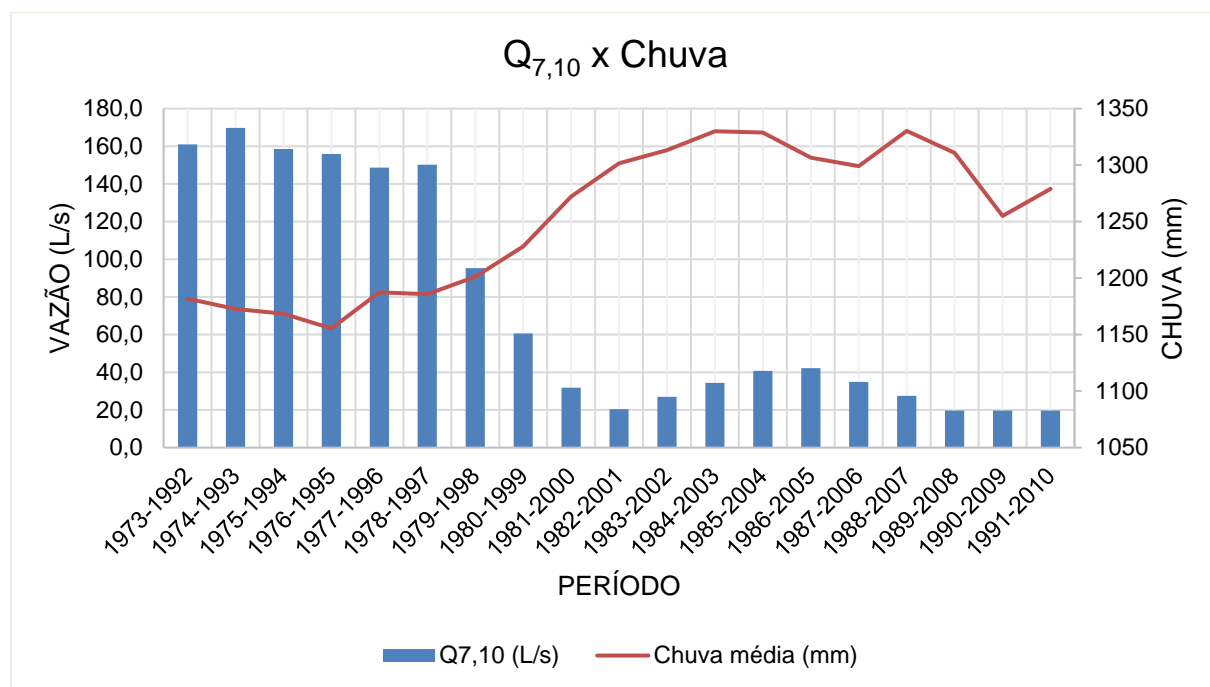
De acordo com o levantamento de solos realizado por Cruz et al. (2012), cerca de 56% da sub-bacia na região abrangente pela estação Siriri é coberta por Argissolos Amarelos, o que indica, de acordo com Sartori et al. (2005), de baixa a muito baixa permissividade a infiltração, favorecendo o escoamento superficial. Essa ação irá se refletir na vazão máxima Q_{TR50} , discutida mais a frente, onde o teste de Mann Kendall exibe um resultado de tendência significativa de aumento na vazão. A outra parcela do solo é predominada por Latossolos, 43,66%, enquadrado no grupo A e B com taxa de infiltração entre alta e moderada, cenário que propiciaria maior

absorção da água precipitada pelo solo. Entretanto, as análises indicam que o aumento das chuvas não está se refletindo claramente nas vazões mínimas.

Uma circunstância a ser levantada, principalmente com base no resultado do coeficiente de variação da amostra de dados da vazão Q_{90} , 81%, é que o comportamento das vazões mínimas também pode ter sido influenciado por alterações nos registros de valores na régua de medição como a modificação da localização da estação em decorrência de eventos extremos que carrearam a estação, por exemplo, fato este conhecido a partir de contatos com moradores no local.

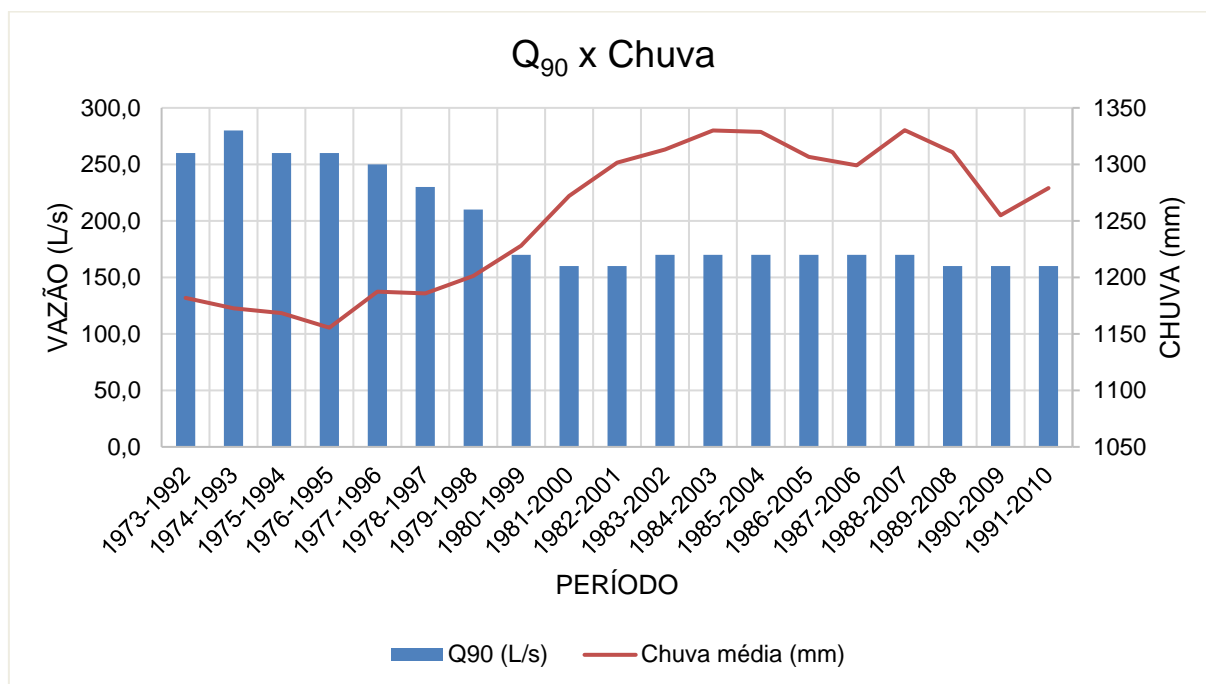
Nos gráficos apresentados na Figura 25 e na Figura 26 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 25. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Siriri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Siriri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.3 Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$

Com as análises aplicadas aos dados da Q_{50} da estação Siriri observa-se baixa dispersão, 14%. A série apresenta tendência de redução dos valores, visto que a tendência p-value encontra-se abaixo de 0,05 e que o índice Tau é negativo, de acordo com o teste Mann Kendall. O coeficiente de correlação entre a vazão e a precipitação é negativo e essa interação é classificada como forte.

Na $Q_{Média}$ verifica-se que os dados também têm baixa dispersão, 11%, e que a série apresenta tendência de redução, conforme teste de Mann Kendall. A correlação com a precipitação é negativa, classificada como moderada.

Com a tendência significativa de aumento nas chuvas, esperava-se que esse comportamento se refletisse nas vazões médias, entretanto, a reação é inversa, indicando tendência significativa de redução. Outra reação esperada relaciona-se ao tipo de solo predominante, o Argissolo, que, por dificultar a infiltração, favoreceria o escoamento superficial, resposta não evidenciada na análise.

Acredita-se que problemas associados a ao registro contínuo e preciso dos dados diários podem estar gerando interpretações divergentes neste posto. Assim é fortemente recomendada a instalação e controle de outra estação de medição de

níveis no rio em seção próxima de forma a confrontar os registros e validar os dados históricos.

Nos gráficos apresentados na Figura 27 e na Figura 28 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 27. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Siriri.

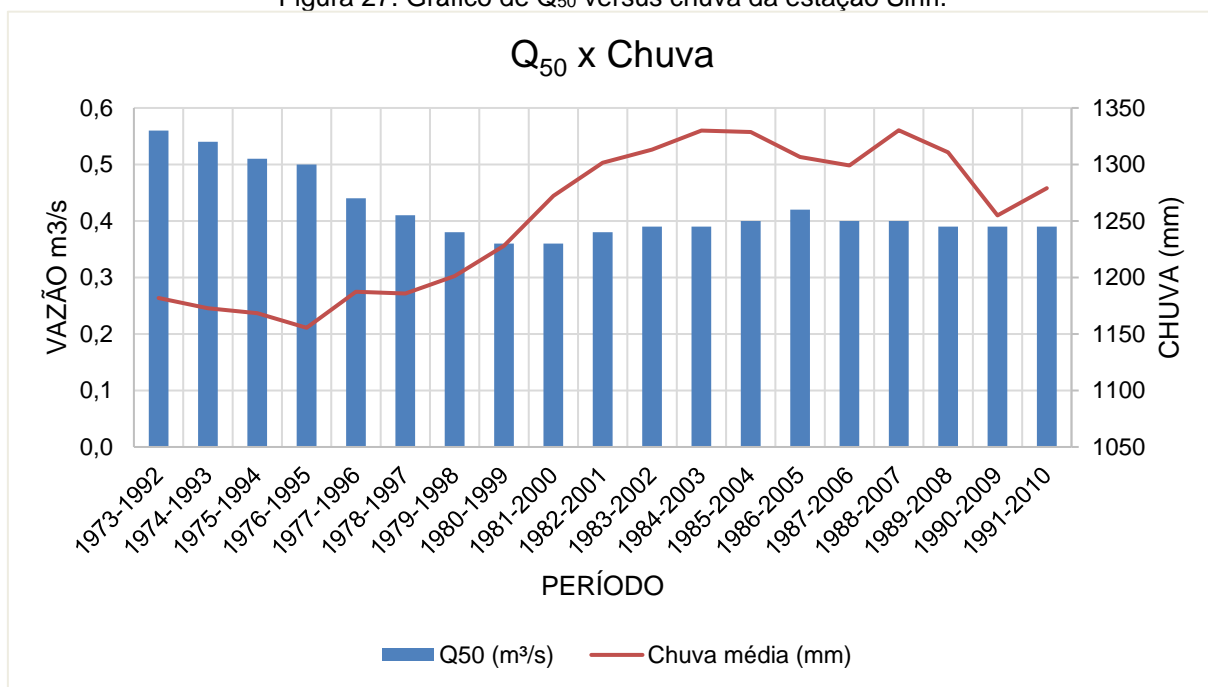
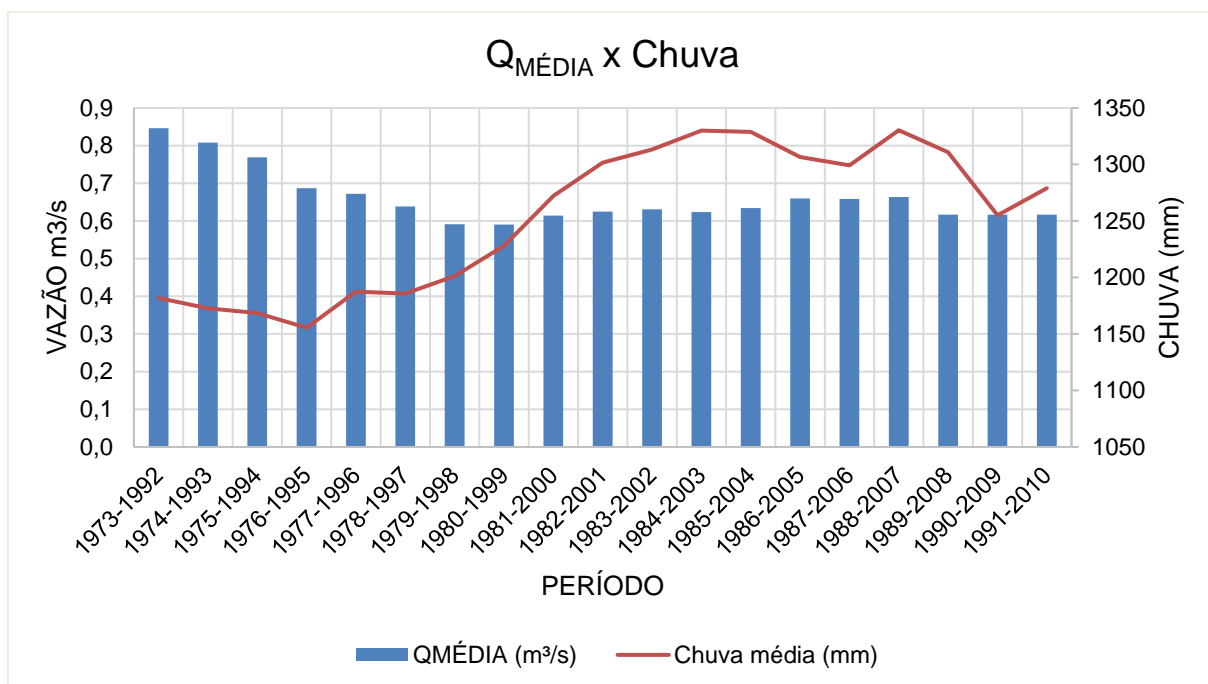


Figura 28. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Siriri.



4.1.2.4 Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}

A análise de dados fluviométricos Q_{TR10} da estação Siriri, se encaixa nos parâmetros de baixa dispersão, 21%, sem tendência aparente na série, de acordo com o teste de Mann Kendall, e com dependência muito forte da variável chuva, conforme análise de correlação.

Na análise da Q_{TR50} os dados da Q_{TR50} também apresentam baixa dispersão, 13%, sendo mais homogêneos que a Q_{TR10} , com tendência crescente nos registros da série e interdependência forte dos dados de precipitação.

Como discutido nas análises anteriores, o comportamento da chuva média não se repercutiu nas vazões mínimas e médias. Nas vazões máximas o estudo aponta uma tendência significativa de aumento na Q_{TR10} , consequência prevista com base no tipo de solo predominante, o Argissolo, e nos respectivos usos.

Ressalta-se que o tempo de resposta de bacias menores, como Siriri, tende a ser muito mais rápido a um evento de chuva do que de em bacias maiores. (DE ARAGÃO et al., 2013; ARAGÃO e ALMEIDA, 2009)

Nos gráficos apresentados na Figura 29 e na Figura 30 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 29. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Siriri.

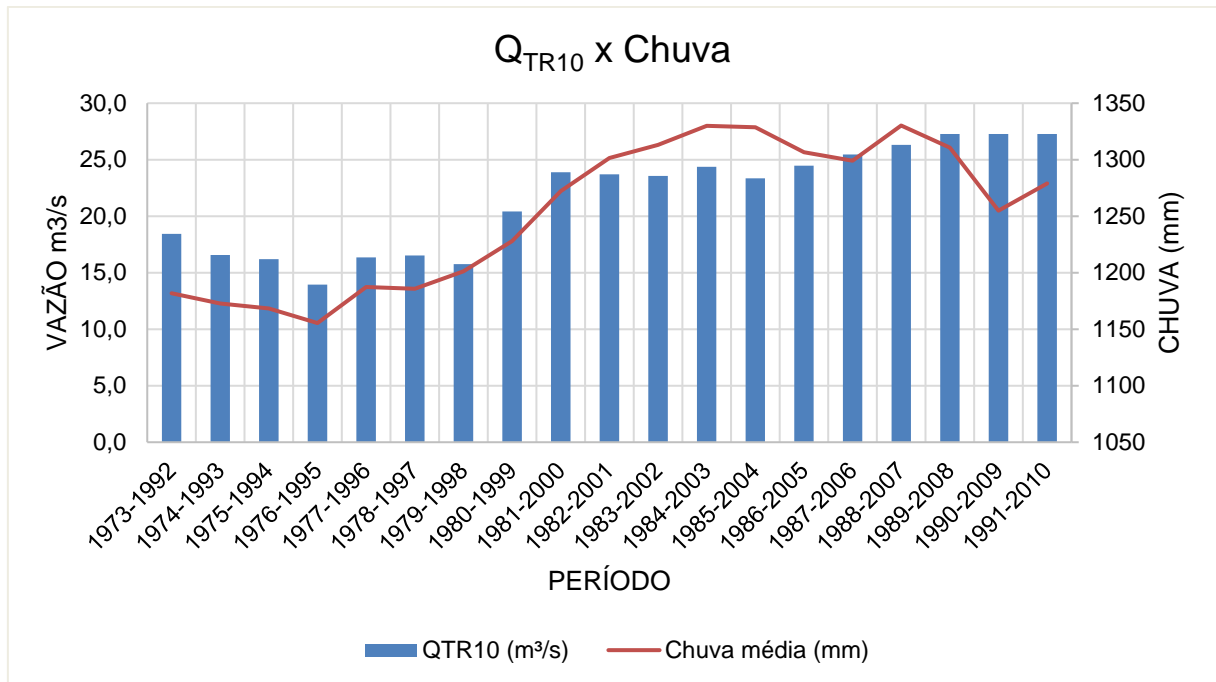
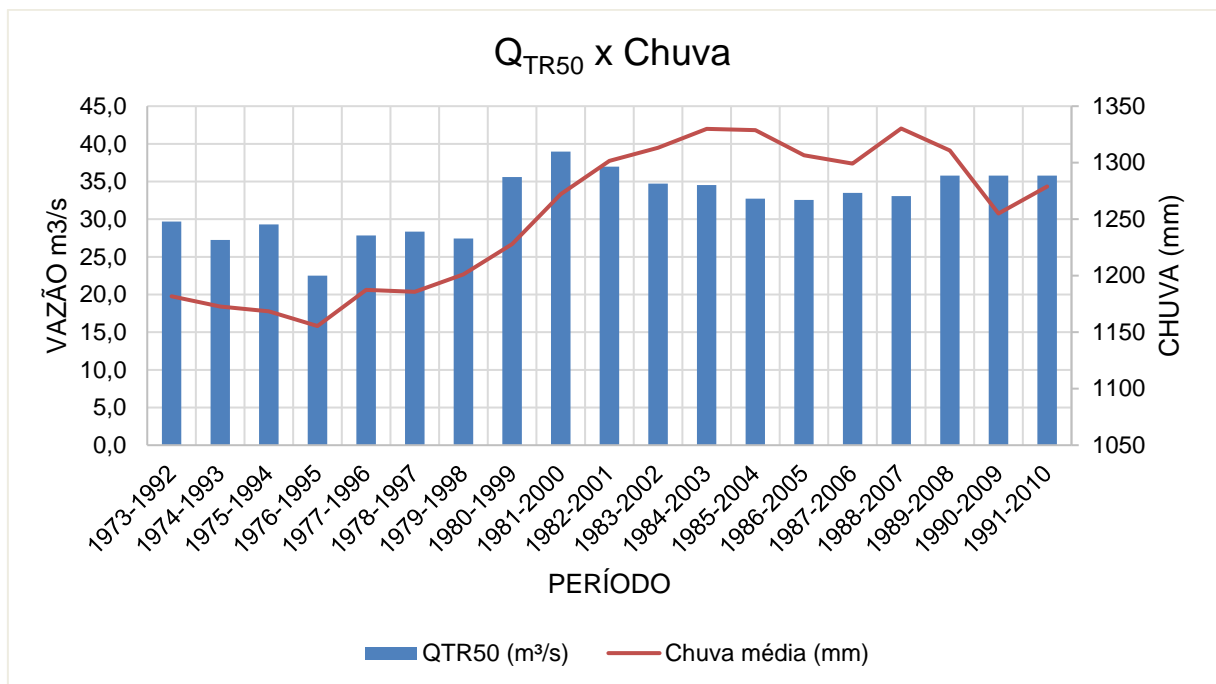


Figura 30. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Siriri.



4.1.3 Estação Rosário do Catete

Na Tabela 6 encontram-se os resultados das análises estatísticas realizadas para a estação Rosário do Catete.

Tabela 6. Tabela estatística da estação Rosário do Catete.

	Chuva média (mm)	MÍNIMAS		MÉDIAS		MÁXIMAS	
		Q _{7,10} (L/s)	Q ₉₀ (L/s)	Q ₅₀ (m³/s)	Q _{MÉDIA} (m³/s)	Q _{TR10} (m³/s)	Q _{TR50} (m³/s)
Mínimo	1155,46	36,37	291,35	1,06	2,69	59,55	95,64
Máximo	1330,25	125,23	388,71	1,44	3,77	114,13	193,56
Média	1263,99	79,67	314,14	1,28	3,19	88,74	142,35
Desvio Padrão	58,16	27,3	25,61	0,09	0,3	19,81	24,07
Coeficiente de Variação	5%	34%	8%	7%	9%	22%	17%
	Baixo	Moderado	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Correlação com a chuva média**		0,446	-0,173	0,007	0,421	0,644	0,672
		moderado	muito fraco	muito fraco	moderado	forte	forte
Mann Kendall	0,385*	-0,0708	0,178	0,181	0,618	0,696*	0,635

*Tendência considerada para p-value<0,05=5%.

**Classificação considerado valores baixos quando CV<0,25, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando CV>0,75.

***Classificação considerando valores entre 0 a 0,19 "muito fraco", 0,20 a 0,39 "fraco", 0,40 a 0,59 "moderado", 0,60 a 0,79 "forte", 0,80 a 1 "muito forte".

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3.1 Chuva média

A mesma estação pluviométrica, Santa Rosa de Lima, utilizada para a estação Siriri, foi utilizada para a estação Rosário do Catete, considerando a área de influência. Assim, os dados demonstraram baixa dispersão e possuem tendência de crescimento.

4.1.3.2 Vazões mínimas: Q_{7,10} e Q₉₀

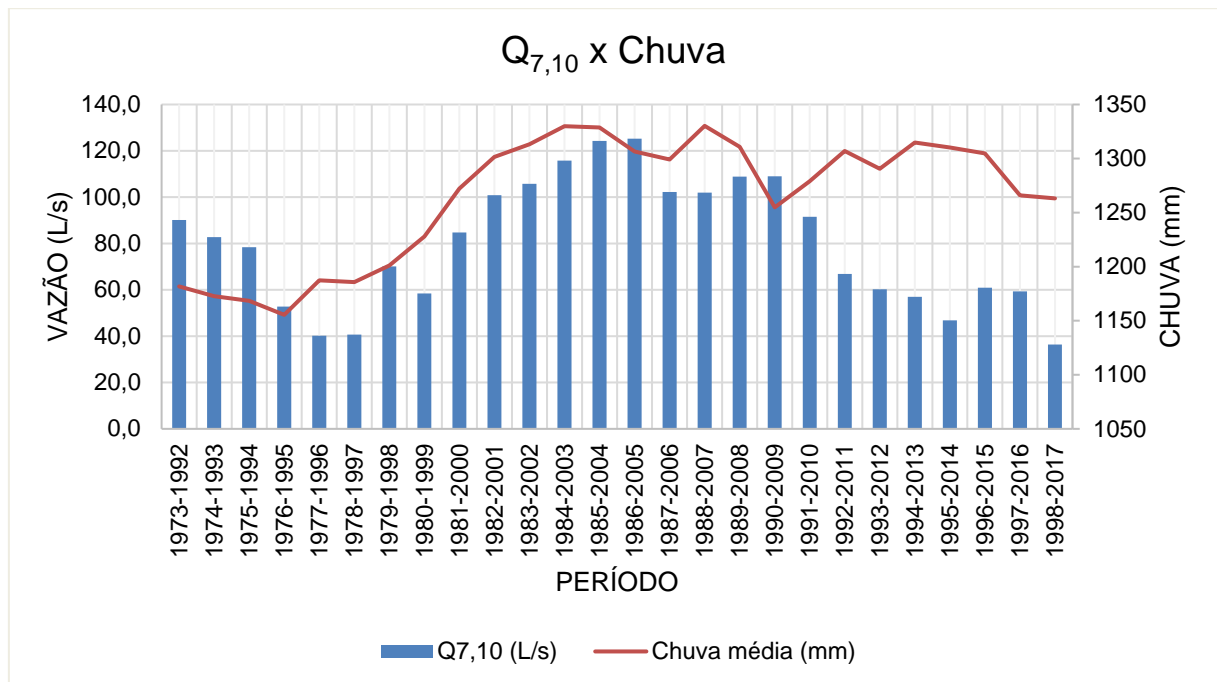
A análise das vazões mínimas Q_{7,10} demonstra moderado grau de dispersão dos dados, 34%, sem tendência na série de registros. Verifica-se com o coeficiente de correlação que as variáveis chuva e vazão tendem a se mover juntas moderadamente nas análises de Q_{7,10}.

Já a análise dos dados de Q₉₀ enquadra o coeficiente de variação em baixa dispersão. A série não demonstra tendência de acordo com o teste de Mann Kendall e a dependência da variável precipitação a partir do coeficiente de correlação é muito fraca.

Apesar da tendência significativa de aumento na precipitação, dentro desta amostra específica de dados não é possível evidenciar resultados expressivos no comportamento das vazões mínimas.

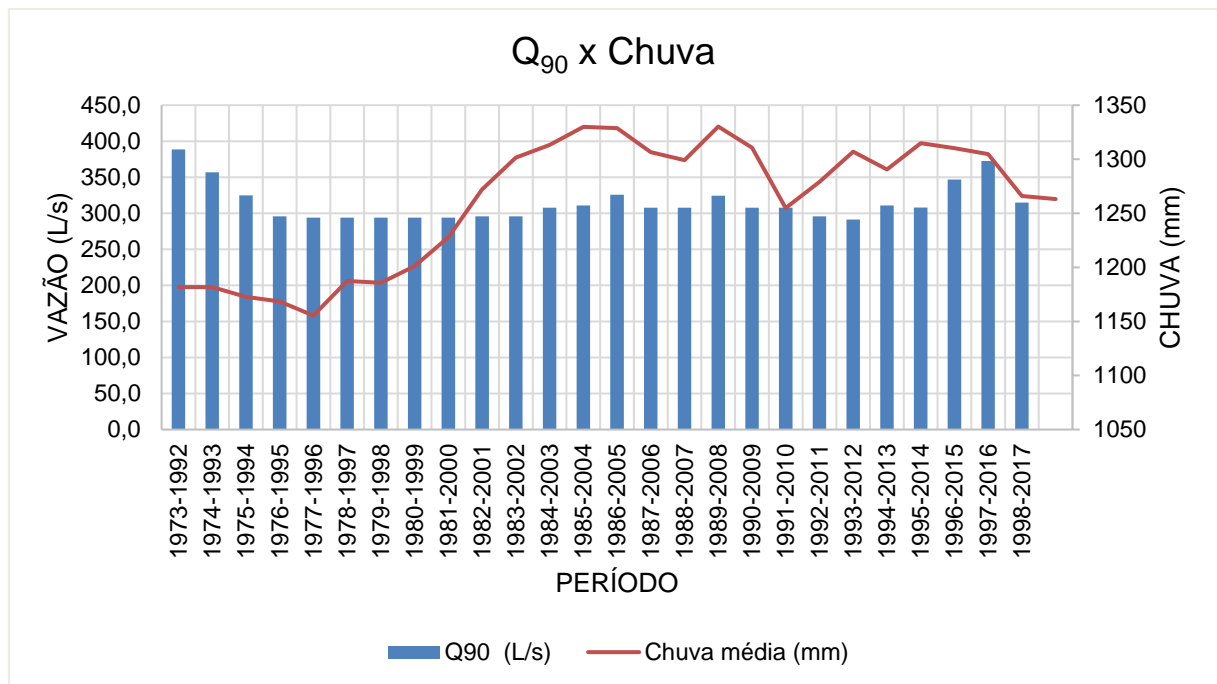
Nos gráficos apresentados na Figura 31 e na Figura 32 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 31. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Rosário do Catete.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Rosário do Catete.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3.3 Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$

Rosário do Catete compartilha do mesmo comportamento de baixa variação para as vazões Q_{50} e $Q_{Média}$: 7% e 9%, consecutivamente, sem tendência nas séries de acordo com o resultado do teste de Mann Kendall. A interdependência entre o comportamento pluviométrico e o fluviométrico da Q_{50} é classificado como muito fraco e o da $Q_{Média}$ como moderado, ambos positivos conforme análise do coeficiente de correlação.

Apesar do predomínio dos Argissolos Amarelos, com permissividade reduzida de infiltração, assim como o estudo das vazões mínimas, o efeito de aumento nas chuvas não está se refletindo nas vazões médias.

Nos gráficos apresentados na Figura 33 e na Figura 34 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 33. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Rosário do Catete.

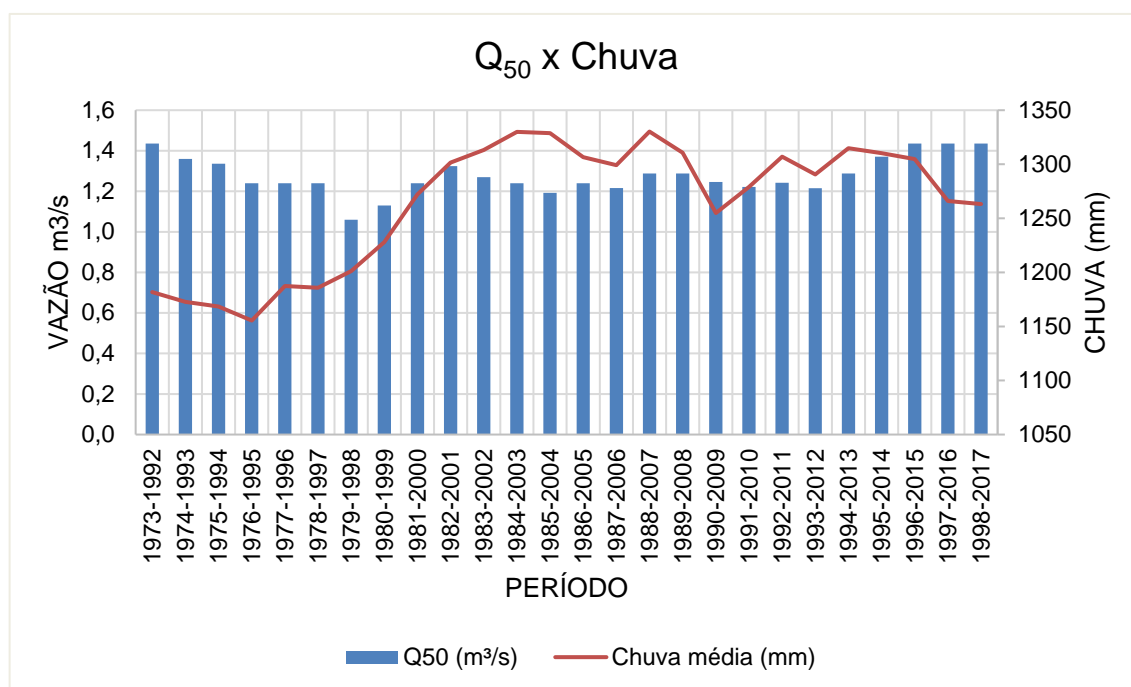
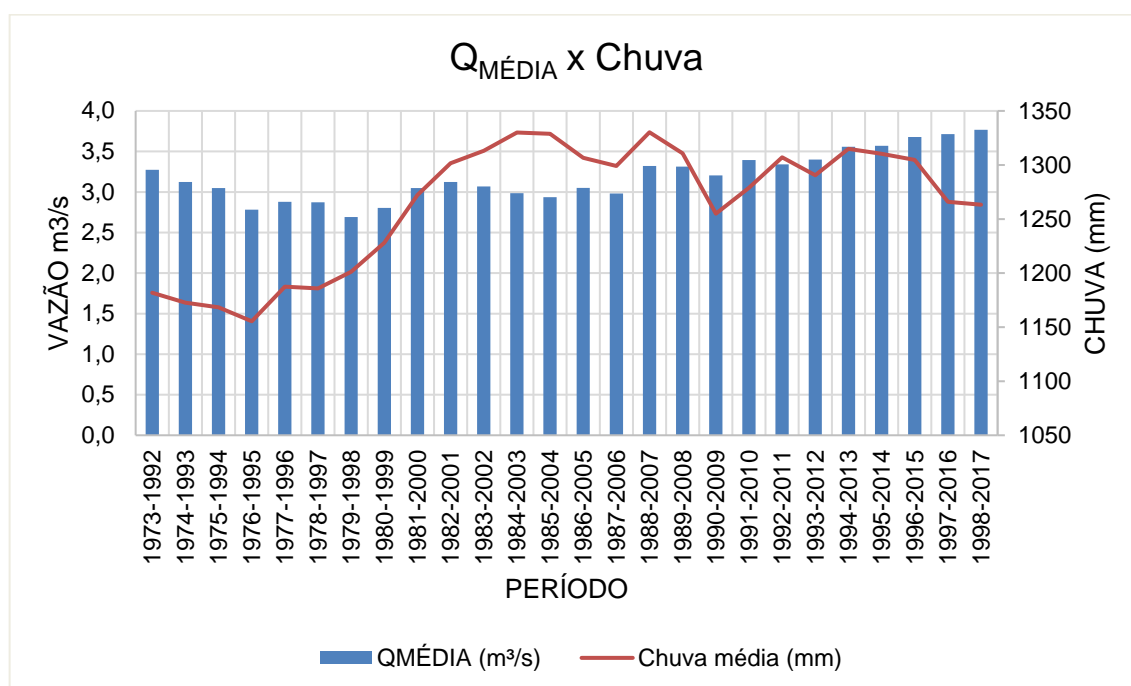


Figura 34. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Rosário do Catete.



4.1.3.4 Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}

O coeficiente de variação enquadra a Q_{TR10} em baixo grau de dispersão, 22%. A série possui tendência crescente considerando p-value menor do que 5% e, com o coeficiente de correlação, evidencia-se que a dependência da variável chuva é positivamente forte. Assim, a análise demonstra grande possibilidade de que esta vazão tenha seu comportamento influenciado pela precipitação, que também tem tendência de aumento.

Na análise da Q_{TR50} o coeficiente de variação também enquadra os dados em baixo grau de dispersão, 17%, não se constata tendência na série e verifica-se com o coeficiente de correlação que a variável pode ter dependência positiva forte da chuva. Apesar de não ser evidenciada pela análise, com a precipitação apresentando tendência positiva na série, pode-se sugerir uma relação entre a chuva média e a vazão a partir do grau de interação entre as variáveis.

Assim como ocorrido na região da estação Siriri, o único indicio de repercussão da tendência significativa de aumento da chuva média na região da estação Rosário do Catete é evidenciado nas vazões máximas ao levar em consideração, além da interação entre as variáveis chuva e vazão, a predominância dos Argissolos e da cobertura por pasto que, por dificultarem a infiltração, tendem a favorecer o escoamento superficial.

Nos gráficos apresentados na Figura 35 e na Figura 36 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 35. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Rosário do Catete.

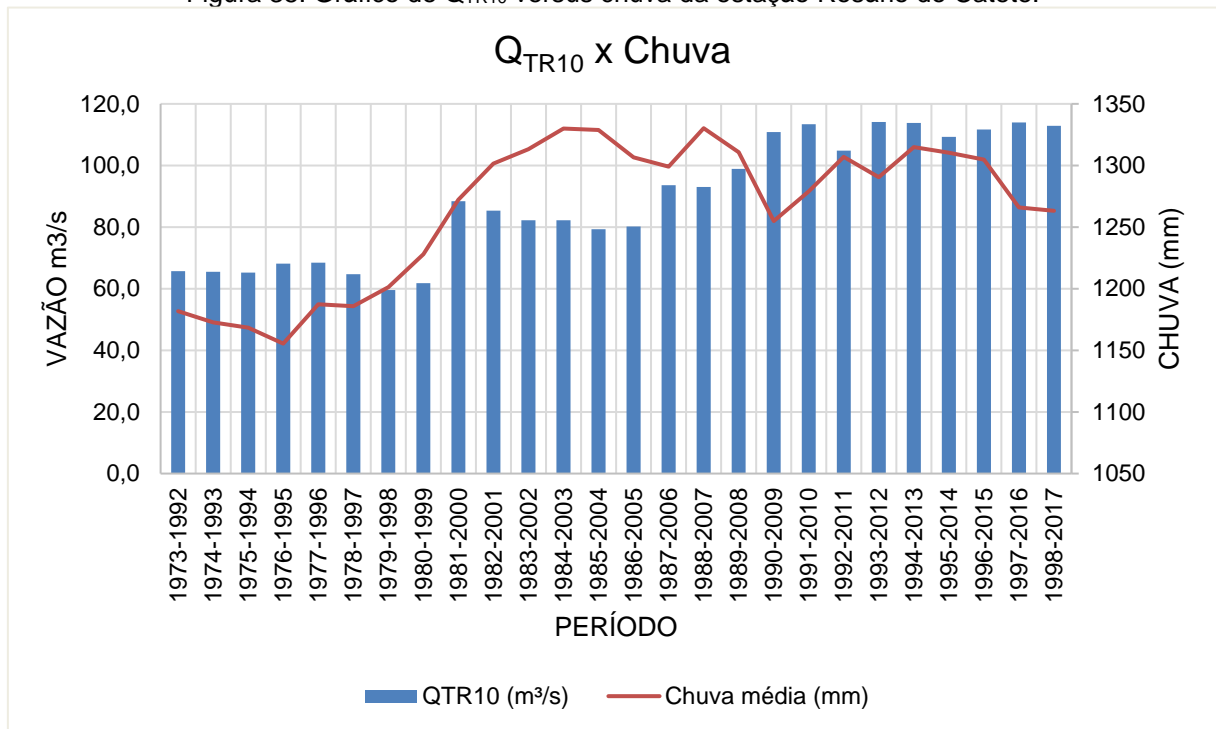
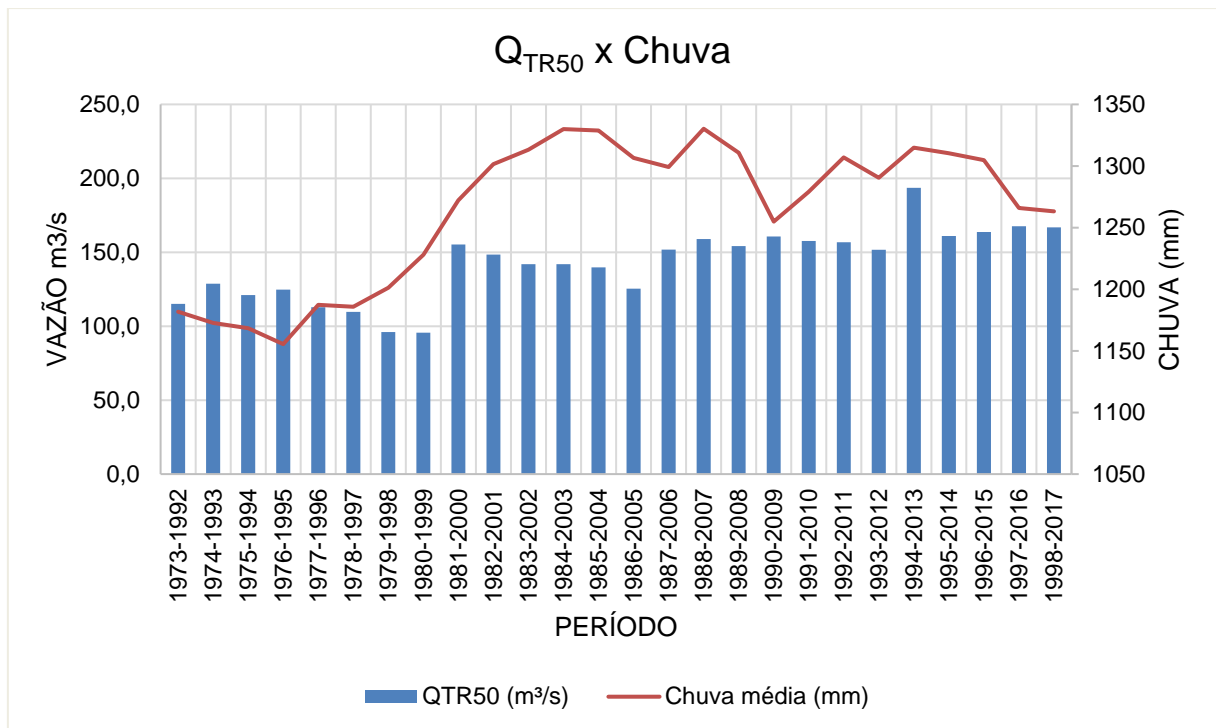


Figura 36. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Rosário do Catete.



4.1.4 Estação Fazenda Pão de Açúcar

As análises estatísticas efetuadas na estação Fazenda Pão de Açúcar estão demonstradas na Tabela 7.

Tabela 7. Tabela estatística da estação Fazenda Pão de Açúcar.

	Chuva média (mm)	MÍNIMAS		MÉDIAS		MÁXIMAS	
		Q _{7,10} (L/s)	Q ₉₀ (L/s)	Q ₅₀ (m³/s)	Q _{MÉDIA} (m³/s)	Q _{TR10} (m³/s)	Q _{TR50} (m³/s)
Mínimo	1311,43	0	39,19	0,16	0,62	27,04	39,2
Máximo	1791,56	13,46	54,45	0,25	1,01	52,21	83,13
Média	1559,68	2,72	43,51	0,2	0,73	36,95	57,89
Desvio Padrão	179,33	4,95	5,34	0,03	0,1	10,24	15,02
Coeficiente de Variação**	11%	182%	12%	13%	14%	28%	26%
	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
Correlação com a chuva média***		-0,471	-0,748	0,704	0,791	0,936	0,927
		moderado	forte	forte	muito forte	muito forte	muito forte
Mann Kendall	0,633*	-0,713*	-0,759*	0,459*	0,717*	0,75	0,5*

*Tendência considerada para p-value<0,05=5%.

**Classificação considerado valores baixos quando CV<0,25, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando CV>0,75.

***Classificação considerando valores entre 0 a 0,19 "muito fraco", 0,20 a 0,39 "fraco", 0,40 a 0,59 "moderado", 0,60 a 0,79 "forte", 0,80 a 1 "muito forte".

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4.1 Chuva média

As análises estatísticas realizadas para a estação pluviométrica Fazenda Cajueiro, utilizadas para as análises de vazão da estação Fazenda Pão de Açúcar e Fazenda Cajueiro, resultam em um coeficiente de variação igual a 11%, sendo enquadrado em baixo grau de dispersão. O resultado do teste de Mann Kendall demonstra tendência positiva na série, indicando aumento nos valores utilizados.

4.1.4.2 Vazões mínimas: Q_{7,10} e Q₉₀

Na estação Fazenda Pão de Açúcar, os dados apresentam alto grau de dispersão, 182%. O coeficiente de correlação entre as variáveis chuva e vazão é classificado como moderado, em uma correlação negativa, ou seja, inversamente

proporcionais. O resultado do teste de Mann Kendall com p-value abaixo de 5% e Tau negativo, constata tendência de redução dos valores da série fluviométrica.

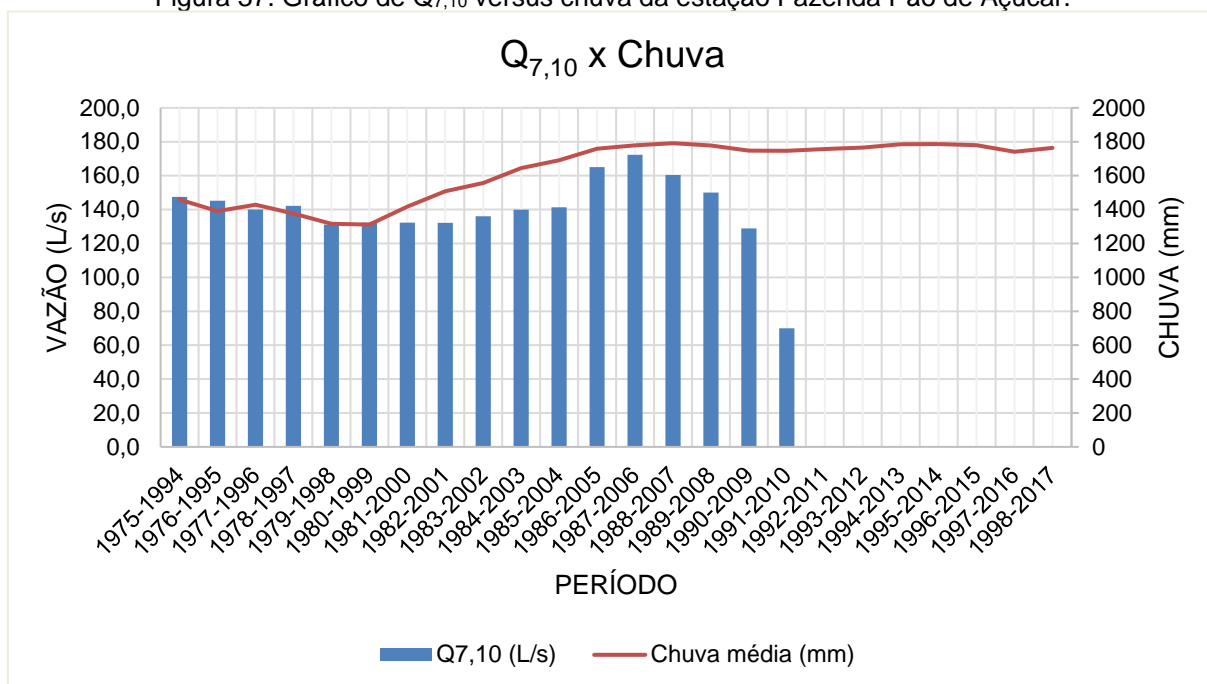
Destaca-se que para a $Q_{7,10}$ a dificuldade de obter um ajuste mais perfeito da função estatística a partir dos anos 2000, em razão de possíveis alterações antrópicas na medição, resultou em escoamentos nulos, situação também refletida no elevado coeficiente de variação das amostras.

Em contrapartida a Q_{90} possui baixo grau de dispersão, 12%, e tem correlação negativa classificada como forte com a série de dados de chuva média. Com a interpretação do teste de Mann Kendall, constata-se tendência significativa de redução dos valores da série fluviométrica.

A literatura aponta que em bacias com predominância de vegetação rasteira como o pasto, predominante em 53,81% no local, a tendência é de aumentar o escoamento superficial e reduzir as taxas de infiltração no solo, diminuindo as vazões mínimas, fato que pode justificar tal comportamento desta região da estação Fazenda Pão de Açúcar, apesar do aumento das chuvas (LATUF, 2007). Além disso, os Argissolos, conforme caracterização de Sartori et al. (2005), é um solo com taxas de “baixa” a “muito baixa” permissibilidade à infiltração e está presente em aproximadamente 95% da extensão.

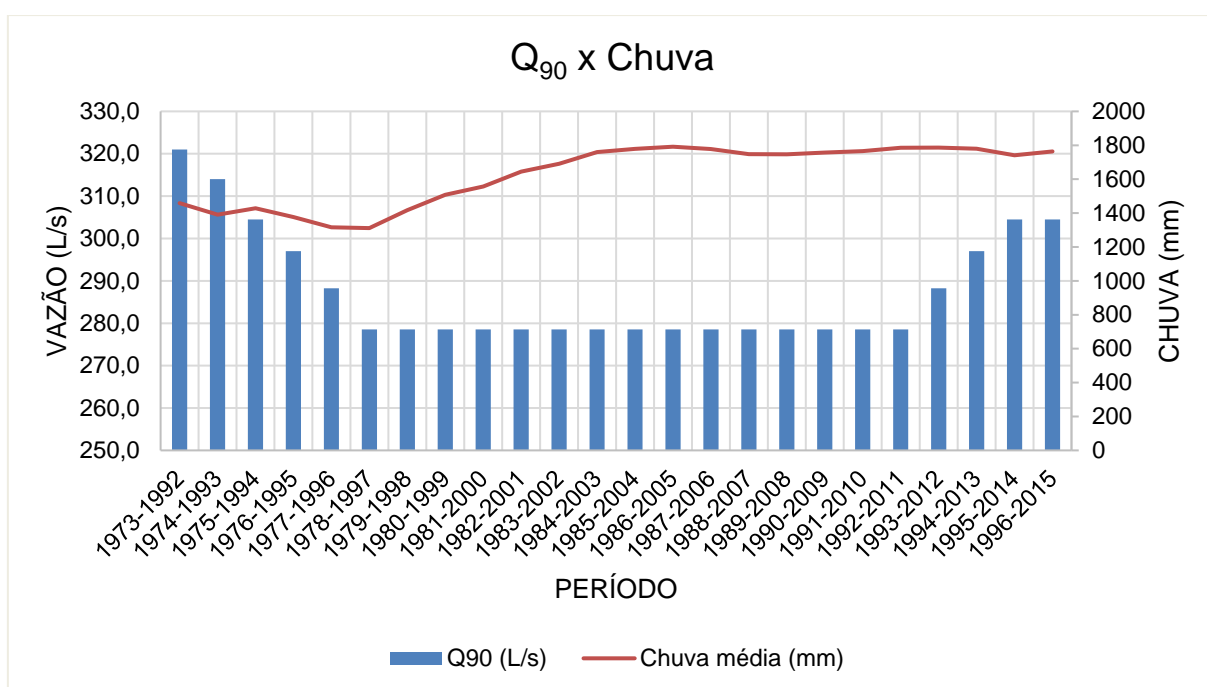
Nos gráficos apresentados na Figura 37 e na Figura 38 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 37. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4.3 Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$

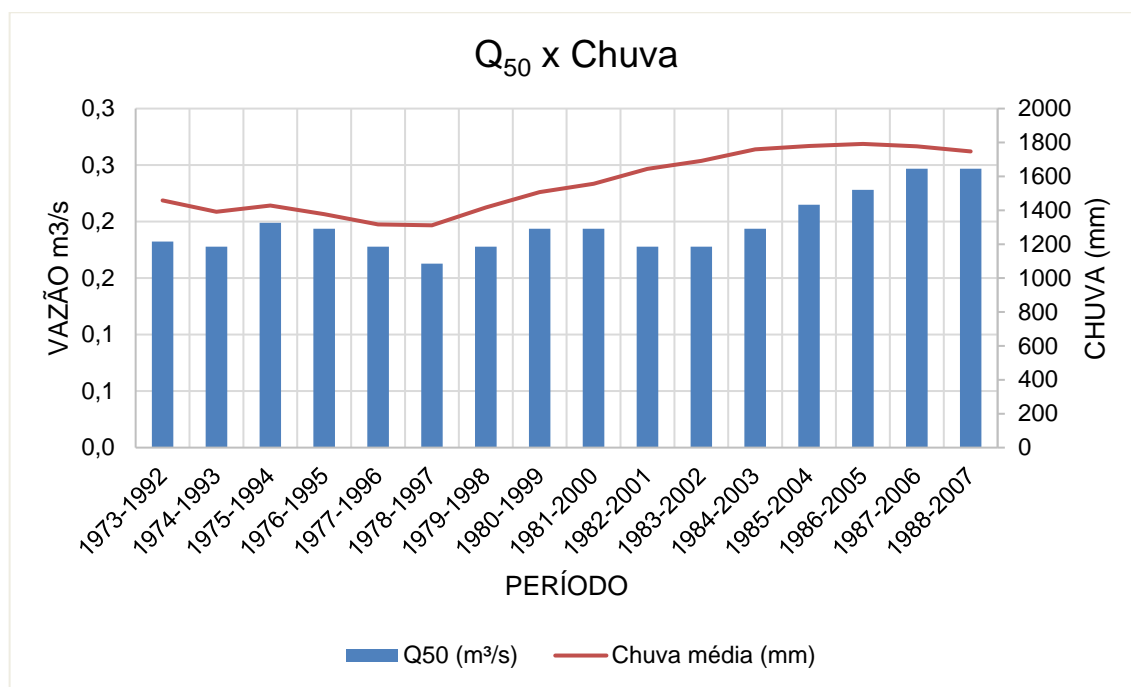
A análise das amostras de Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$ demonstram baixa dispersão dos dados, 13% e 14%, respectivamente. Com o coeficiente de correlação verifica-se que

as variáveis chuva e vazão Q_{50} têm correlação positiva forte e $Q_{MÉDIA}$ muito forte, sendo ambas diretamente proporcionais. O teste de Mann Kendall, constata tendência positiva nas duas séries fluviométricas.

Diante da interpretação das análises estatísticas, presume-se que o comportamento de aumento das vazões esteja sendo influenciado pelo aumento da precipitação neste local. Essa região da bacia também é coberta em maioria por pasto e com Argissolo predominante, características que colaboram para o comportamento de elevação da vazão média e do escoamento superficial. (LATUF, 2007)

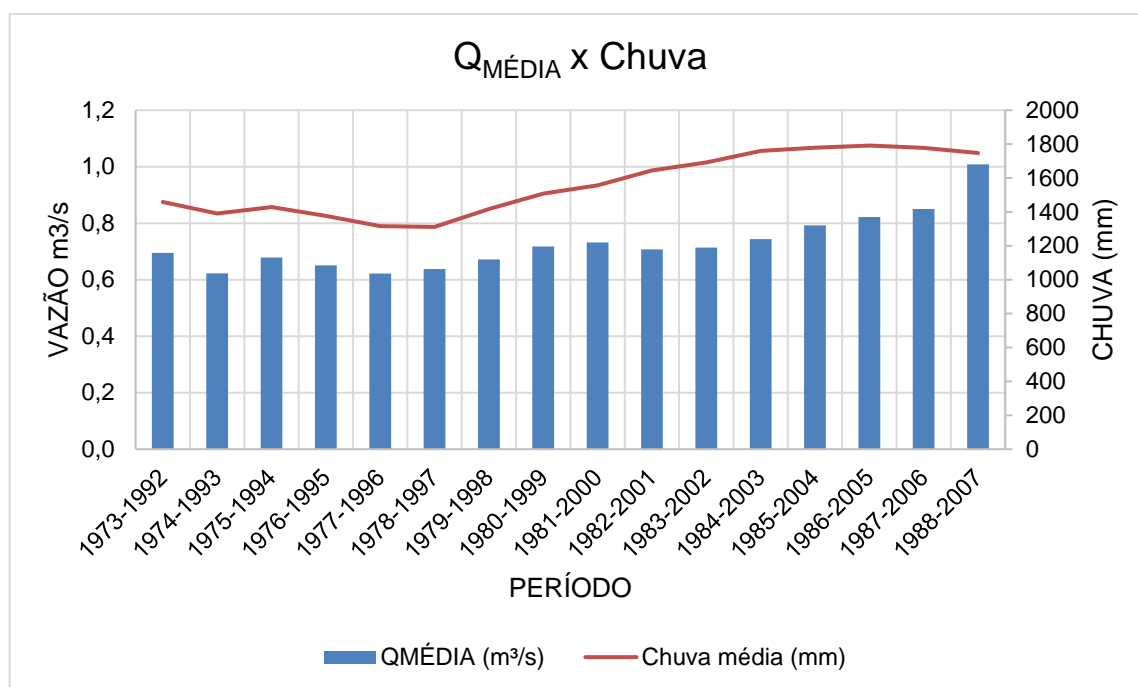
Nos gráficos apresentados na Figura 39 e na Figura 40 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 39. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4.4 Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}

A curva Q_{TR10} é crescente com moderada dispersão dos dados, 28%. De acordo com o coeficiente de correlação as variáveis chuva e vazão tendem a se mover juntas positivamente em grau considerado forte, sendo então diretamente proporcionais. O teste de Mann Kendall não evidencia tendência na série tendo em vista que o p-value é maior do que 5%.

Assim como na Q_{TR10} , o comportamento da vazão Q_{TR50} enquadra a curva em moderada dispersão, 26%, de acordo com o coeficiente de variação, e tem tendência crescente, conforme teste de Mann Kendall. Em contrapartida à Q_{TR50} , a correlação é positiva, classificada no grau forte e diretamente proporcional com a precipitação, um indício considerável desta interação.

Assim como discutido nas vazões médias, além de muito forte interação com a chuva média, os elementos de uso e cobertura também atuam como forças motrizes para este comportamento.

Nos gráficos apresentados na Figura 41 e na Figura 42 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 41. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.

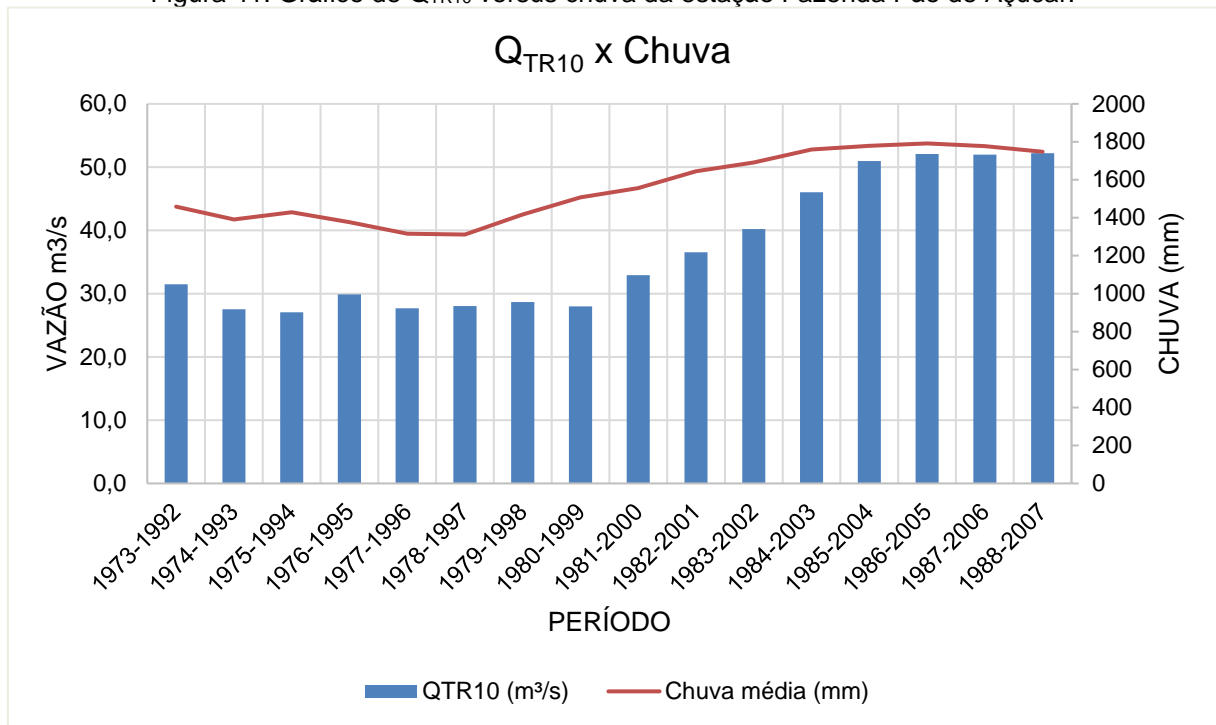
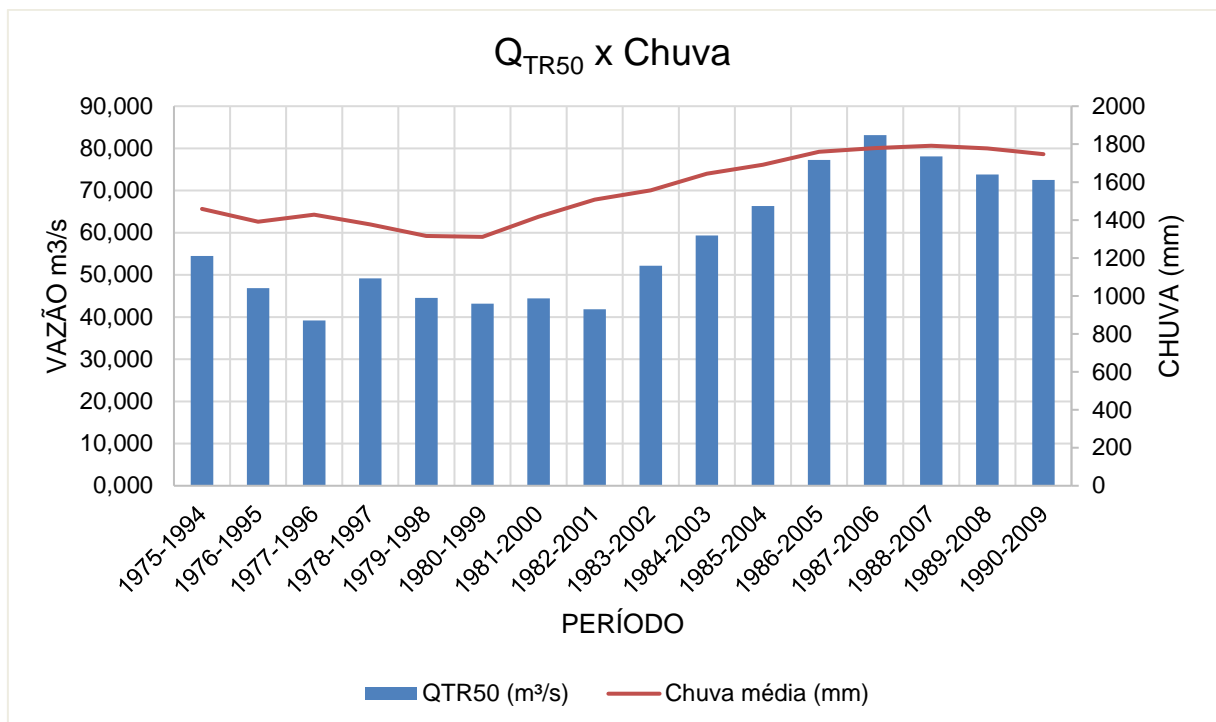


Figura 42. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Fazenda Pão de Açúcar.



4.1.5 Estação Fazenda Cajueiro

A Tabela 8 resume as análises estatísticas realizadas para a estação Fazenda Cajueiro.

Tabela 8. Tabela estatística da estação Fazenda Cajueiro.

	Chuva média (mm)	MÍNIMAS		MÉDIAS		MÁXIMAS	
		Q _{7,10} (L/s)	Q ₉₀ (L/s)	Q ₅₀ (m³/s)	Q _{MÉDIA} (m³/s)	Q _{TR10} (m³/s)	Q _{TR50} (m³/s)
Mínimo	1311,43	0	278,53	0,58	1,49	41,77	39,48
Máximo	1791,56	172,33	321,02	1,94	2,49	56,21	85,6
Média	1628,31	98,61	287,37	0,87	1,83	47,07	58,46
Desvio Padrão	175,77	67,14	13,32	0,41	0,31	3,35	13,02
Coeficiente de Variação**	11%	68%	5%	47%	17%	7%	22%
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Baixo	Baixo
Correlação com a chuva média***		-0,474	-0,330	0,456	0,607	-0,165	-0,526
		moderado	fraco	moderado	forte	muito fraco	moderado
Mann Kendall	0,587*	-0,464*	-0,121*	0,586*	0,667*	0,113	-0,309*

*Tendência considerada para p-value<0,05=5%.

**Classificação considerado valores baixos quando CV<0,25, moderados entre 0,25 e 0,75 e altos quando CV>0,75.

***Classificação considerando valores entre 0 a 0,19 "muito fraco", 0,20 a 0,39 "fraco", 0,40 a 0,59 "moderado", 0,60 a 0,79 "forte", 0,80 a 1 "muito forte".

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5.1 Chuva média

As análises estatísticas realizadas para a estação Fazenda Cajueiro, utilizadas tanto para as associações com as análises fluviométricas das estações Fazenda Pão de Açúcar como para Fazenda Cajueiro, demonstraram 11% de variação nos dados amostrados. Com o teste de Mann Kendall, verificou-se que a série tem tendência positiva, indicando aumento da precipitação.

4.1.5.2 Vazões mínimas: Q_{7,10} e Q₉₀

O coeficiente de variação demonstra que a Q_{7,10} apresenta alto grau de dispersão, 68%. Com o teste de Mann Kendall é possível verificar que os registros utilizados tendem a reduzir com o avanço dos períodos, comportamento este inverso

a precipitação, que tende a aumentar. Essa interação entre chuva e vazão é negativa e pode ser classificada como moderada, de acordo com o coeficiente de correlação.

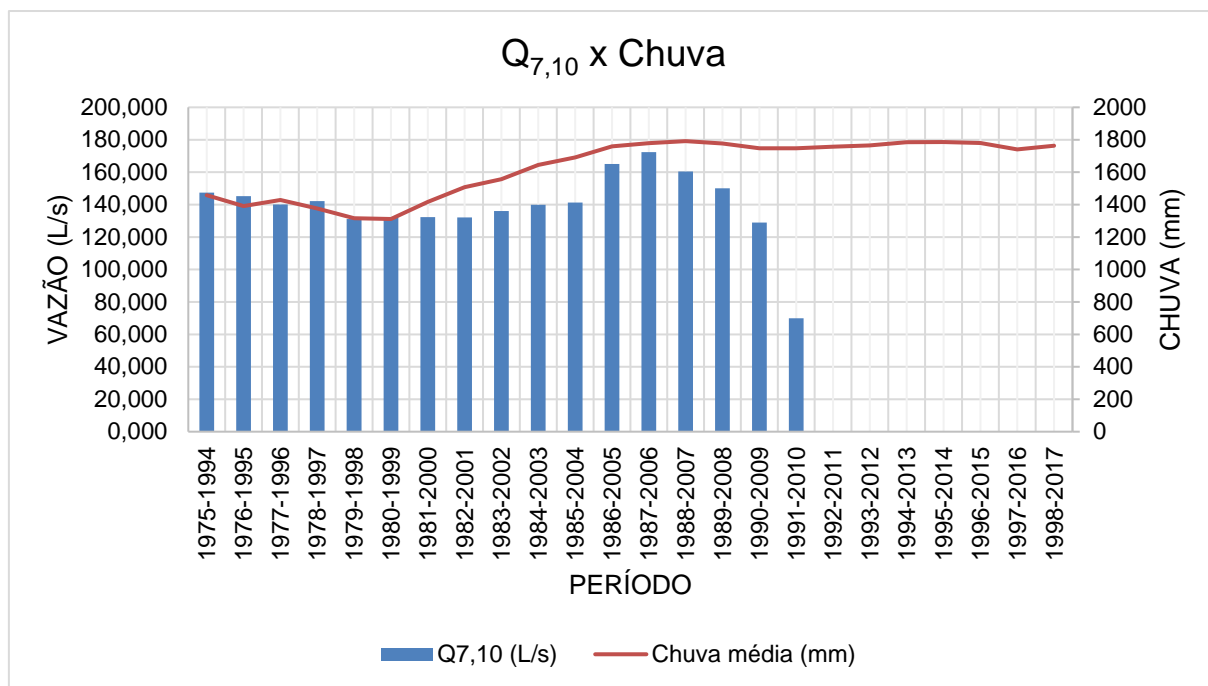
Ressalta-se que para a $Q_{7,10}$ a dificuldade de obter um ajuste mais perfeito da função estatística a partir do ano 2010, em razão de possíveis alterações antrópicas na medição, resultou em escoamentos nulos, irregularidades também evidenciadas pelo elevado grau de dispersão.

Já a análise estatística da Q_{90} evidencia uma série com baixo grau de dispersão, 5%, demonstrando maior estabilidade. Na interpretação do teste de Mann Kendall constata-se tendência de redução no valor dos dados utilizados. A interação entre o comportamento da chuva e da vazão pode ser classificado como fraco e é inversamente proporcional.

Assim como destacado na estação Fazenda Pão de Açúcar, a tendência de coberturas como o pasto, predominantes em 42% da região, é de aumentar o escoamento superficial e reduzir as taxas de infiltração no solo (LATUF, 2007). Também se considera neste caso a taxa de infiltração dos Argissolos ser de “baixa” a “muito baixa”, classe dominante em 68% do local.

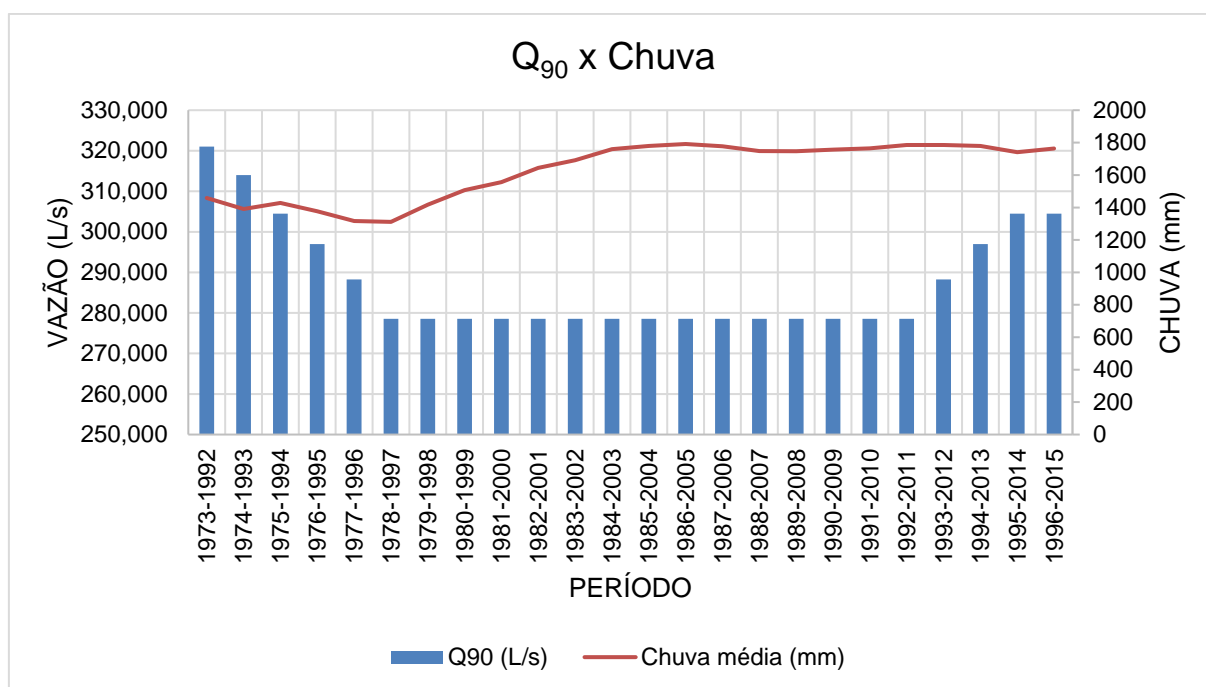
Nos gráficos apresentados na Figura 43 e na Figura 44 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 43. Gráfico de $Q_{7,10}$ versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44. Gráfico de Q_{90} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5.3 Vazões médias: Q_{50} e $Q_{MÉDIA}$

Os valores da Q_{50} ficam enquadrados nos parâmetros de moderado grau de dispersão, 47%, e apresentam tendência significativa positiva, de acordo com o teste de Mann Kendall. Com o coeficiente de correlação, verifica-se que as variáveis tendem a se mover juntas sendo diretamente proporcionais, classificando essa interação como moderada.

Na análise da $Q_{MÉDIA}$ as amostras apresentam baixa dispersão, 17%. Assim como na Q_{50} , verifica-se com o coeficiente de correlação que as variáveis chuva e vazão tendem a se mover juntas positivamente, sendo enquadrada como forte e com tendência significativa positiva na série de dados ao aplicar o teste Mann Kendall.

Com o resultado das análises nota-se a possibilidade da influência da precipitação sobre o aumento das vazões médias. Além dessa contribuinte, a região ocupada na bacia pela estação Fazenda Cajueiro é coberta por pasto em 42% do total e com predominância de Argissolos em 68%. Tais características que colaboram ainda mais para o comportamento de elevação da vazão média e do escoamento superficial. (LATUF, 2007)

Nos gráficos apresentados na Figura 45 e na Figura 46 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 45. Gráfico de Q_{50} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.

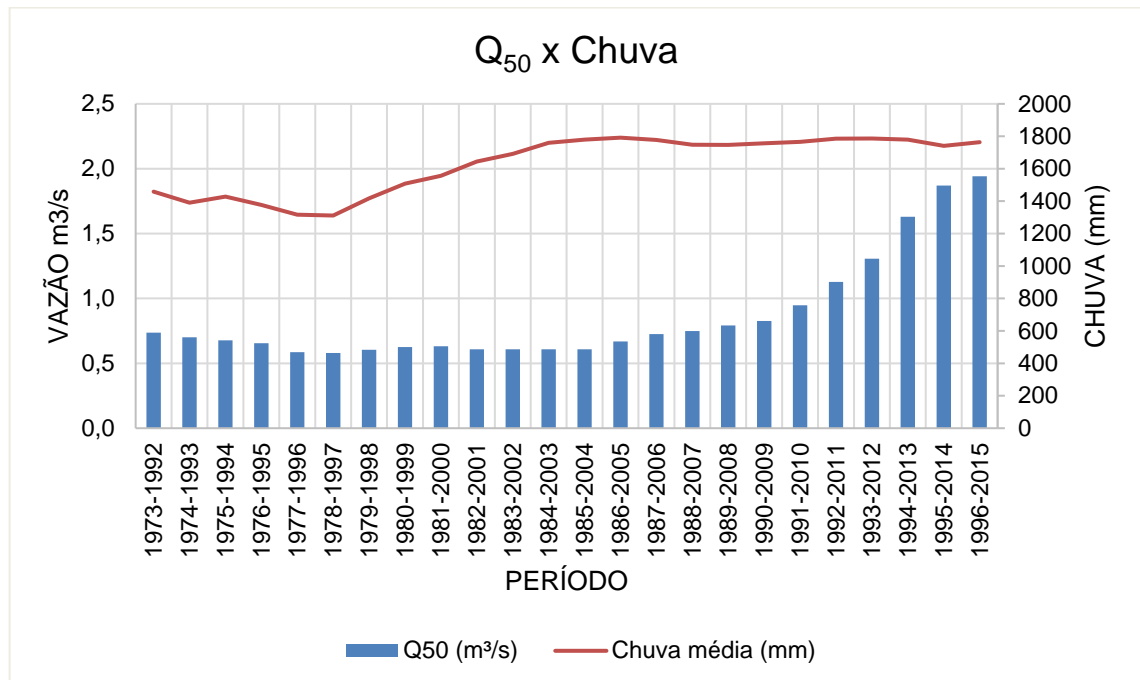
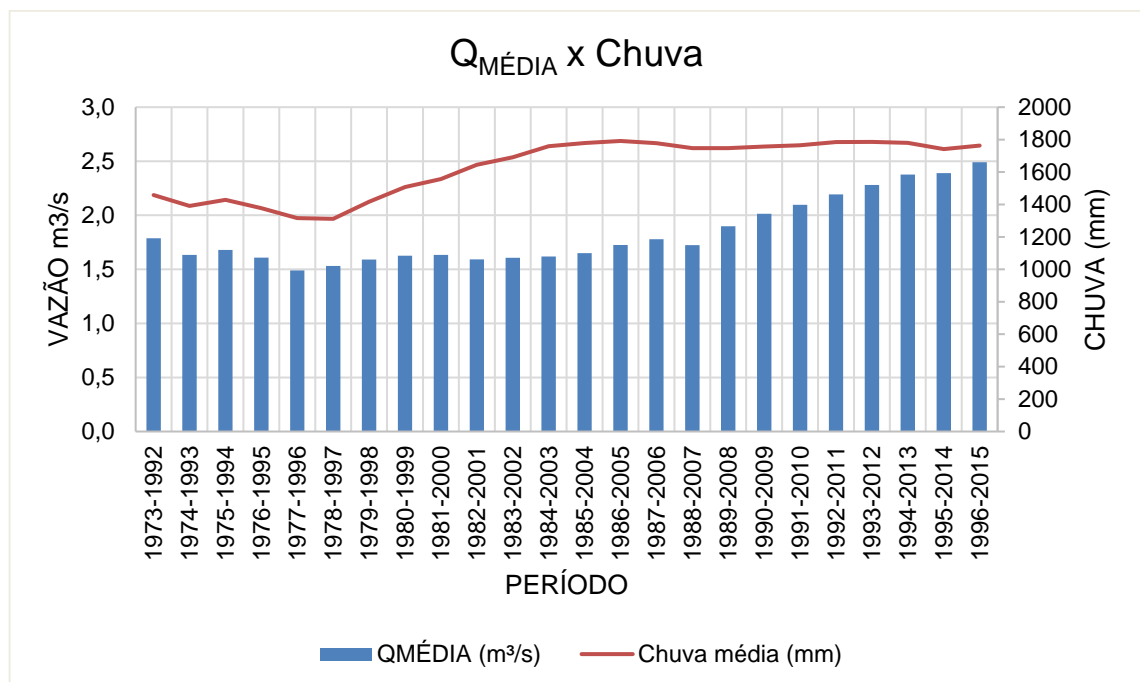


Figura 46. Gráfico de $Q_{MÉDIA}$ versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.



4.1.5.4 Vazões máximas: Q_{TR10} e Q_{TR50}

As análises evidenciam que os dados de Q_{TR10} têm um baixo grau de dispersão, 7%. Na interpretação do teste de Mann Kendall, não se constata tendência na série, considerando o resultado p-value acima de 5%. A correlação demonstra que o comportamento da vazão em relação à precipitação, se enquadra no grau muito fraco, sendo grandezas inversamente proporcionais.

Para a Q_{TR50} a interpretação do teste de Mann Kendall evidencia a possibilidade de tendência significativa negativa na série, também enquadrada em baixo grau de dispersão dos termos, 22%. A correlação demonstra que o comportamento da vazão em relação à precipitação se enquadra no grau moderado, sendo grandezas inversamente proporcionais.

Ao contrário do comportamento das vazões medias que exprimem a possibilidade de acompanhar o aumento das chuvas, as análises das vazões máximas expressam uma reação inversa com chances de redução. Pode-se considerar que este comportamento esteja relacionado a eventos de chuvas de curta duração e grandes intensidades, não refletidas nas chuvas médias anuais utilizadas no estudo.

Salienta-se ainda que a análise desta região contemplou menos dados com grande quantidade de falhas gerando a possibilidade de que a distribuição estatística, apesar de apontar bom ajuste com os dados disponíveis, gere resultados com elevado grau de incerteza para vazões máximas, principalmente que extrapolam o tamanho da série.

Nos gráficos apresentados na Figura 47 e na Figura 48 pode-se visualizar o comportamento das vazões versus chuva média.

Figura 47. Gráfico de Q_{TR10} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.

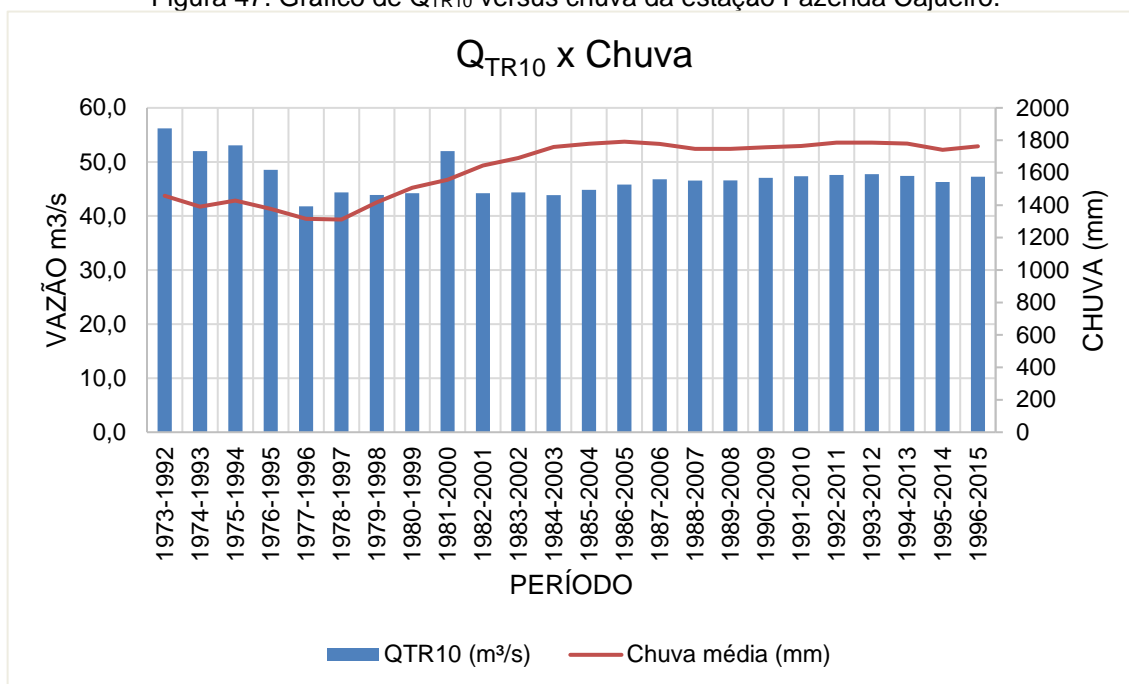
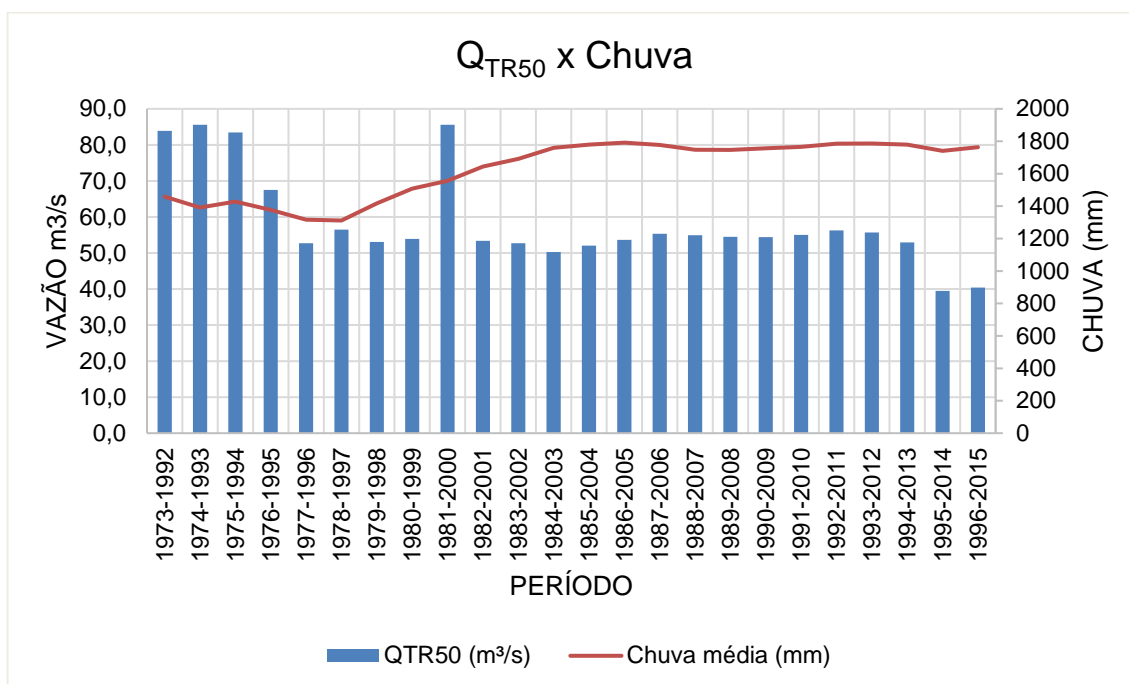


Figura 48. Gráfico de Q_{TR50} versus chuva da estação Fazenda Cajueiro.



4.2 Associações comparativas entre o comportamento das sub-bacias do Rio Japarutuba

A Tabela 9 exibida a seguir exprime um parâmetro para a classificação hidrológica dos solos presentes na Bacia do Rio Japarutuba com base nos estudos realizados por Sartori et al. (2005) e na Tabela 10 os usos predominantes dos solos da Bacia do Rio Japarutuba de acordo com o levantamento realizado por Cruz et al. (2012).

Tabela 9. Caracterização hidrológica dos solos da Bacia do Rio Japarutuba de acordo com a classificação de Sartori et al. (2005).

Estação	Classe de solo	Porcentagem de cada classe	Grupo Hidrológico	Infiltração
Japarutuba	Argissolos Vermelhos-Amarelos e Argissolos Vermelhos	68,68%	C e D	Baixa a muito baixa
Siriri	Argissolos Amarelos	55,74%	C e D	Baixa a muito baixa
	Latossolos	43,66%	A e B	Alta a moderada
Rosário do Catete	Argissolos Amarelos	66,15%	C e D	Baixa a muito baixa
Fazenda Pão de Açúcar	Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos	95,03%	C e D	Baixa a muito baixa
Fazenda Cajueiro	Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos	68%	C e D	Baixa a muito baixa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10. Usos predominantes dos solos da Bacia do Rio Japarutuba de acordo com o levantamento realizado por Cruz et al. (2012).

Estação	Usos predominantes	Porcentagem de cada uso
Japarutuba	Pasto de gramíneas	67%
Siriri	Terras agrícolas	47,22%
	Pasto de gramíneas	27,06%
Rosário do Catete	Pasto de gramíneas	35%
	Terras agrícolas	22,82%
Fazenda Pão de Açúcar	Pasto de gramíneas	53,81%
Fazenda Cajueiro	Pasto de gramíneas	47%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 11 consta o resumo dos resultados da análise do teste de Mann Kendall, indicando as séries com tendência significativa de crescimento ou

decrescimento onde o coeficiente “+” exprime grandezas diretamente proporcionais e o “-” grandezas inversamente proporcionais.

Tabela 11. Quadro resumo da análise do teste de Mann Kendall.

Estação	Chuva	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q ₅₀	Q _{Média}	Q _{TR10}	Q _{TR50}
Japaratuba		+		-	-	-	-
Siriri	+			-	-		+
Rosário do Catete	+					+	
Fazenda Pão de Açúcar	+	-	-	+	+		+
Fazenda Cajueiro	+	-	-	+	+		-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a Tabela 12 exibe um resumo da análise de correlação entre os dados de vazão e de precipitação indicando o coeficiente “+” grandezas diretamente proporcionais e “-” grandezas inversamente proporcionais.

Tabela 12. Quadro resumo da análise de correlação entre os dados de vazão e de precipitação.

Estação	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q ₅₀	Q _{Média}	Q _{TR10}	Q _{TR50}
Japaratuba	fraco (+)	moderado (+)	muito fraco (-)	muito fraco (-)	muito fraco (-)	fraco (-)
Siriri	muito forte (-)	muito forte (-)	forte (-)	moderado (-)	muito forte (+)	forte (+)
Rosário do Catete	moderado (+)	muito fraco (-)	muito fraco (+)	moderado (+)	forte (+)	forte (+)
Fazenda Pão de Açúcar	moderado (-)	forte (-)	forte (+)	muito forte (+)	muito forte (+)	muito forte (+)
Fazenda Cajueiro	moderado (-)	fraco (-)	moderado (+)	forte (+)	muito fraco (-)	moderado (-)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o teste de Mann Kendall foi possível identificar tendência significativa de aumento nas chuvas médias em todas as regiões, exceto pela área contribuinte para a estação Japaratuba.

Nota-se que a tendência significativa de aumento na vazão Q_{7,10} da região abrangida pela estação Japaratuba pode estar sendo influenciada pelas mudanças dos usos e cobertura do solo que vêm ocorrendo, abordadas por De Aragão et al. (2013) e por Aragão e Almeida (2009), onde a substituição das pastagens pela cana-de-açúcar resulta no aumento do escoamento subterrâneo através da irrigação nos períodos de estiagem. Além disso, com as demais análises deste local é possível identificar a tendência significativa de redução das vazões médias e máximas, um

indicativo a mais da influência desta alteração no uso do solo. Destaca-se, ainda, a dimensão desta região da bacia, onde influências diversas podem atuar sobre a formação do escoamento tornando a interpretação mais complexa. Além de novos estudos, implementação de mais postos de medição em outros locais reduziria as áreas contribuintes e facilitaria o acompanhamento das alterações sofridas por esta sub-bacia.

Na região da estação Siriri, o levantamento de solos realizado por Cruz et al. (2012) indica que em cerca de 56% dos solos do local ocorre o predomínio de Argissolos Amarelos, classe com taxas de infiltração entre baixa a muito baixa, e por Latossolos, 43,66%, enquadrados no grupo A e B com taxa de infiltração entre alta e moderada. As análises indicam que o possível aumento das chuvas não está se refletindo nas vazões mínimas, aponta tendência significativa de redução das vazões médias e de aumento das vazões máximas. Um resultado importante neste diagnóstico é o coeficiente de variação da amostra de dados da vazão Q_{90} , 81%, indicando que o comportamento pode ter sido influenciado por alterações nos registros de valores na régua de medição como a modificação da localização da estação em decorrência de eventos extremos que carrearam a estação, por exemplo. Nas vazões máximas, a tendência significativa de aumento na Q_{TR10} é uma consequência esperada com base no tipo de solo predominante, o Argissolo, além da “forte” correlação com a precipitação.

A área contemplada pela estação Rosário do Catete não demonstrou alterações expressivas no comportamento das vazões mínimas e médias, apesar da tendência significativa de aumento na chuva média. Contudo, esse aumento é refletido na Q_{TR10} que, além da correlação forte com a precipitação, conta com a possível influência da predominância dos Argissolos e da cobertura por pasto que, por dificultarem a infiltração, tendem a favorecer o escoamento superficial.

Como apresentado, as vazões mínimas da região da estação Fazenda Pão de Açúcar demonstraram tendência significativa de redução, inverso à chuva média. Nos dados da $Q_{7,10}$ destaca-se a possibilidade de possíveis alterações antrópicas na medição diante da dificuldade de obter um ajuste mais perfeito da função estatística a partir dos anos 2000 resultando em escoamentos nulos e refletida também no elevado coeficiente de variação das amostras, 182%. Já a Q_{90} exibe um comportamento típico de regiões cobertas por pasto e das classes dos Argissolos: predominante em 53,81%

do local, o pasto pode atuar elevando o escoamento superficial e reduzindo as taxas de infiltração no solo e os Argissolos, presente em aproximadamente 95% da área, dificulta a infiltração. Esse comportamento é evidenciado nas vazões médias e máximas onde, com correlações “forte” e “muito forte” com a chuva média, o teste de Mann Kendall constata tendência significativa de aumento. Salienta-se ainda que a análise desta região contemplou menos dados com grande quantidade de falhas.

Em um comportamento muito similar, a área contribuinte da estação Fazenda Cajueiro também apontou tendência significativa de redução nas vazões mínimas, apesar da tendência significativa de aumento da chuva média, e de aumento nas vazões médias. A $Q_{7,10}$ também apresentou dificuldade de obter um ajuste mais perfeito da função estatística a partir do ano 2010, em razão de possíveis alterações antrópicas na medição, resultando em escoamentos nulos no elevado grau de dispersão das amostras, 68%. Já a Q_{90} evidencia a tendência de coberturas como o pasto, predominantes em 42% da região, de aumentar o escoamento superficial e reduzir as taxas de infiltração no solo. Também se considera neste caso a taxa de infiltração dos Argissolos ser de “baixa” a “muito baixa”, classe dominante em 68% do local. Nas vazões médias isso se reflete adequadamente, constando tendência significativa de aumento, somado a interação “forte” e “moderada” com a precipitação.

Em contrapartida a análise da vazão máxima Q_{TR50} expressa uma reação inversa, com chances de redução nos valores de vazão e com correlação negativa à precipitação. Neste caso, pode-se considerar que este comportamento esteja relacionado a eventos de chuvas de curta duração e grandes intensidades, não refletidas nas chuvas médias anuais utilizadas no estudo.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, evidenciou-se com o teste de Mann Kendall que, com exceção à área contribuinte para a estação Japaratuba, todas as demais estações apresentam tendência significativa de aumento nas chuvas médias.

As análises dos dados do rio principal, Japaratuba, região abrangida pela estação Japaratuba, indicaram que a vazão mínima $Q_{7,10}$ possui tendência significativa de aumento e as vazões de referência médias e máximas possuem tendência significativa de redução, desempenhos que podem estar associados às alterações dos usos e coberturas do solo através da substituição das pastagens pela cana-de-açúcar que resulta no aumento do escoamento subterrâneo através da irrigação nos períodos de estiagem.

Foi possível perceber que esta sub-bacia contemplou a maior quantidade de vazões de referência, 30, e que, devido a sua maior dimensão, a interpretação se torna mais complexa pelas inúmeras influências que podem atuar na formação do escoamento ao longo da região. Assim, um fato importante a ser almejado é a implementação de mais postos de medição em outros locais reduziria as áreas contribuintes e facilitaria o acompanhamento das alterações sofridas por esta sub-bacia.

No afluente Siriri, as análises indicaram que o possível aumento das chuvas não está se refletindo nas vazões mínimas. Nas vazões máximas, a tendência significativa de aumento, retrata as possíveis interferências da chuva média e do tipo de solo predominante, o Argissolo presente em cerca de 56% dos solos do local.

Nas vazões médias, o diagnóstico levou em consideração as influências antrópicas que podem ter influenciado o resultado com base no coeficiente de variação das amostras, visto que a reação negativa das tendências não é habitual diante de todas as características do local.

Foi possível constatar uma tendência significativa de redução das vazões de referência mínimas do afluente Japaratuba Mirim em ambas as estações de monitoramento onde, a tendência significativa de aumento da chuva média, refletiu um comportamento provável para regiões de uso e coberturas predominadas por pasto e Argissolos na análise da Q_{90} onde a infiltração tende a ser reduzida.

Concomitantemente, a tendência significativa de aumento das vazões médias e máximas reafirmaram a influência destas características.

Análogas a esta situação, nas análises da $Q_{7,10}$ o elevado coeficiente de variação e a obtenção de escoamentos nulos despertou a possibilidade de ocorrência de alterações antrópicas nos registros desta vazão. Já na vazão máxima Q_{TR50} obtida através da estação Fazenda Pão de Açúcar, a tendência significativa de redução demonstrou que esse comportamento possa estar relacionado a eventos de chuvas de curta duração e grandes intensidades, não refletidas nas chuvas médias anuais utilizadas no estudo.

Verificou-se ainda, a partir da correlação de Pearson entre vazão e precipitação, que nas bacias de menor área essa correlação é mais evidente do que nas bacias maiores, tendo em vista que os tempos de resposta das bacias refletem mais rápido em bacias menores, como Siriri, Japaratuba Mirim e Fazenda Cajueiro.

ANEXOS

Anexo A. Probabilidade de ocorrer um valor maior do que Z, considerando uma distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a 1.

Z	Probabilidade
0.0	0.5000
0.1	0.4602
0.2	0.4207
0.3	0.3821
0.4	0.3446
0.5	0.3085
0.6	0.2743
0.7	0.2420
0.8	0.2119
0.9	0.1841
1.0	0.1587
1.1	0.1357
1.2	0.1151
1.3	0.0968
1.4	0.0808
1.5	0.0668
1.6	0.0548
1.7	0.0446
1.8	0.0359
1.9	0.0287
2.0	0.0228
2.1	0.0179
2.2	0.0139
2.3	0.0107
2.4	0.0082
2.5	0.0062
2.6	0.0047
2.7	0.0035
2.8	0.0026
2.9	0.0019
3.0	0.0013

Fonte: Collischonn e Tassi (2008)

Anexo B. Probabilidade de ocorrer um valor maior do que z, considerando uma distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a 1.

z	Probabilidade	TR
0.000	0.5	2
0.842	0.2	5
1.282	0.1	10
1.751	0.04	25
2.054	0.02	50
2.326	0.01	100
2.878	0.002	500
3.090	0.001	1000
3.719	0.0001	10000

Fonte: Collischonn e Tassi (2008)

Anexo C. Valores de K para estimativa de vazões máximas usando a distribuição Log-Pearson Tipo III (os valores do coeficiente de assimetria estão na primeira coluna e os valores de K estão na região cinza escuro da tabela).

	Tempo de retorno / Probabilidade					
	2	5	10	25	50	100
Coeficiente de assimetria	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318

Fonte: Collischonn e Tassi (2008)

Anexo D. Quantidade de registros de vazão por período para análise estatística fluviométrica.

PERÍODO	Japaratuba	Siriri	Siriri - Rosário do Catete	Japaratuba Mirim - Fazenda Cajueiro	Japaratuba Mirim - Fazenda Pão de Açúcar
	Número de amostras por período				
1969-1988	6379				
1970-1989	6379				
1971-1990	6287				
1972-1991	6287				
1973-1992	6287	4264	5387		
1974-1993	6257	4275	5387		
1975-1994	6196	4637	5752	6117	5811
1976-1995	5831	4637	5783	6148	5811
1977-1996	5831	4637	5783	5782	5992
1978-1997	5544	4408	5783	6148	5811
1979-1998	5794	4637	5783	6148	5446
1980-1999	5678	4637	5783	6148	5081
1981-2000	6044	4637	5783	6148	5081
1982-2001	5769	4637	5783	6148	5081
1983-2002	5771	5002	6148	6513	5446
1984-2003	5781	5367	6442	6878	5811
1985-2004	6147	5733	6711	7244	6177
1986-2005	6177	5726	6703	7244	6177
1987-2006	6146	5361	5712	7213	6174
1988-2007	6175	5088	6640	7154	5840
1989-2008	6165	4738	6701	7154	5833
1990-2009	6195	4738	6670	7123	5859
1991-2010	6275	4738	6669	7123	
1992-2011	5910		7007	7123	
1993-2012	5910		6641	7184	
1994-2013	5940		6276	7091	
1995-2014	5942		6245	7060	
1996-2015	6263		5880	7060	
1997-2016	5897		5514	7060	
1998-2017	5532		5476	7060	

Fonte: Elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. HidroWeb. **Sistema de informações Hidrológicas**. Acesso em: 30 de abril de 2018.
- APARECIDO, Camila Fernandes Ferreira et al. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 239-256, 2016.
- ARAGÃO, R. de; ALMEIDA, JAP de. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do Rio Japarutuba-Sergipe através de imagens LANDSAT. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 14, p. 1231-1238, 2009.
- AVAZANI, J. C. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2009.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil, Ouro Preto, 2014.
- BRAGA, Benedito. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª edição. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005
- BRASIL, Lei Nº. 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21, 2010.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 8, n.2, p. 149–160. 2003
- CADEMARTORI, Sergio; CADEMARTORI, Daniela. A água como um bem fundamental e o direito à água potável como um direito humano fundamental: uma proposta teórica de políticas públicas. **Revista do Instituto Brasileiro de Direitos Humanos**, v. 14, n. 14, 2014.
- CARNEIRO, Gracielly Cristina; DINIZ, Noris; MENEZES, Paulo Henrique. Aplicação de um Sistema de Informação Geográfico como instrumento de gerenciamento de dados dos Recursos Hídricos Superficiais de Irrigação pelo sistema de pivô central do município de Cristalina-GO. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil**, v. 30, 2011.
- CARGNELUTTI FILHO, Alberto; MATZENAUER, Ronaldo; DA TRINDADE, Júlio Kuhn. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1157-1166, 2004.

Catalunha, M.J.; Sediya, G.C.; Leal, B. G.; Soares, C.P.; Ribeiro, A.B. 2002. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 10, 153-162.

CELESTE, Alcigeimes B.; MENEZES, Thiago; FONTES, Vanderlan. Modelagem do processo chuva-vazão pelo Tank Model e por redes neurais artificiais na bacia do rio Japaratuba, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 10, n. 7, 2014.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. 2008.

COSTA, Karen Cristina Pereira; GARCIA, Patricia Helena Mirandola; BRAZ, Adalto Moreira. Uso de geotecnologias como auxílio à modelagem de indicadores ambientais para áreas de APPs de nascentes cultivadas com eucalipto nas bacias hidrográficas dos Rios Carro Queimado e Dom Thomaz-MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 4, 2016.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; COSTEIRO, Embrapa Tabuleiros. **Caracterização da bacia do rio Japaratuba em Sergipe com auxílio de geotecnologias**. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, p. 617-624, 2009.

CRUZ, MAS. Análise do comportamento hidrológico do rio Japaratuba a partir de distribuições de probabilidade e curva de permanência de vazões. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Comunicado Técnico, 2009.

CRUZ, MAS et al. Base de dados do Projeto Japaratuba. Brasília-DF: **Embrapa**, v. 1, 2012.

DA ROCHA, João Carlos Santos; SANTOS, Carlos Hendrikus; ROCHA, Sérgio Luís. Uso de geotecnologia na pesquisa bibliográfica: Biblioteca geoespacial sobre os recursos hídricos de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

DA SILVA, Lucas Augusto Pereira; LEITE, Manoel Reinaldo; DE MAGALHÃES FILHO, Raul. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO DA EVOLUÇÃO GEOGRÁFICA DOS SISTEMAS DE USOS DA TERRA DA BACIA DO RIO JATOBÁ. **Revista Geotemas**, v. 7, n. 2, p. 93-108, 2017.

DE ARAGÃO, Ricardo et al. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, 2013.

DE CASTRO, Angélica Félix et al. Desenvolvimento e aplicação de um banco de dados geográficos na elaboração de mapas da morfodinâmica costeira e sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em áreas costeiras localizadas no estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. suppl. 2, p. 53-64, 2016.

DE OLIVEIRA, Paula Afonso et al. INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO NO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO BRANCO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 1, n. 1, p. 120-125, 2012.

EVANS, James D. **Straightforward statistics for the behavioral sciences**. Thomson Brooks/Cole Publishing Co, 1996.

GARDIMAN JÚNIOR, B.S.; COUTO, D. R.; SOUZA, F. B. C.; SANTOS JUNIOR, G. N. dos; SANTOS, A. R. dos. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.9, p. 21-34, 2012.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. Análise de Correlação e medidas de associação. Universidade Federal do Paraná. Disponível em:< <https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>> v. 9, 2017. Acesso em 09 de outubro de 2018.

GUIMARÃES, Rita Cabral. **PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA APLICADAS À HIDROLOGIA**. 2015.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, Sandra B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372 p.

FERRARI, A. L. Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. Tese. Universidade de São Paulo - USP. São Carlos/SP, 156 p, 2012.

FINKLER, Nicolás Reinaldo et al. Análise de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima sazonal. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – XXISBRH Anais**. Brasília–DF, 2015.

LATUF, M. de O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros. 2007. 103 f.** 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, Sanmy Silveira; DE ALMEIDA, José Antônio Pacheco; SIQUEIRA, José Batista. SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ESTUDO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA, SERGIPE-BRASIL. **Revista GeoNordeste**, n. 1, p. 203-214, 2017.

LINHARES, C. A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Rio Ji-Paraná/RO**. São José dos Campos. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), 217 p. 2005.

MARTINELLI, Nayara. Caracterização física e hidrológica da bacia do rio Gualaxo do Norte. 2017.

MAUS, Victor Wegner; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. **SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE**, v. 1, p. 17, 2007.

MAYNARD, Isabella Ferreira Nascimento; Cruz, Marcus Aurélio Soares; Gomes, Laura Jane. Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do Rio Japarutuba em Sergipe. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 2, p. 207-226, 2017.

RIBEIRO, Andreza et al. SENSIBILIZAR PARA UMA NOVA VISÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Revista UNIPLAC**, v. 5, n. 1, 2017.

ROSA DA SILVA, Leonardo et al. Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul-Rio Grande do Sul. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 41, n. 1, 2018.

SANTOS, Jorgeane Schaefer dos. Ocupação do solo e comportamento hidrológico da Sub-Bacia do Rio Luis Alves, bacia do Rio Itajaí, Santa Catarina. 2003.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, Abel Maia. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório do Prognóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba**. SEMARH, 2015.

SERIO, Juliana et al. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, 2017.

SCHNEIDER, Erwin Henrique Menezes et al. Regionalização das vazões de permanência para as bacias hidrográficas do Estado de Sergipe segundo suas regiões climáticas. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

EMBRAPA SOLOS, Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, 5ª edição, ISBN 978-85-7035-800-4, Brasília, 356p, 2018.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 192 pp, OMM Note Technique, 143, 1975.

TEÓFILO, Thiago Santos. Expansão da cultura da cana-de-açúcar confrontada com o zoneamento agroambiental utilizando análise supervisionada de imagem. 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), ABRH: EDUSP. v. 4. 1993.

TUCCI, Carlos EM; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TUCCI, Carlos EM; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Gestão da água no Brasil**. 2001.

VASCO, Anderson Nascimento do et al. **Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe**, Brasil. 2011.

VIEIRA, C.P. Alterações na cobertura vegetal: interferência nos recursos hídricos. **Silvicultura**, v. 20, n.82, p. 26-27, 2000.

VÖRÖSMARTY, Charles J. et al. Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. **AMBIO: A journal of the Human Environment**, v. 34, n. 3, p. 230-237, 2005.

ZWIRTES, Anderson Luiz et al. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 4, n. 3, 2011.